

**RELEVÉS DE TRACES D'ÉROSION ET
CATÉGORISATION DES
TYPES D'ÉROSION**

Rapport de recherche No R-1382 2012

RELEVÉS DE TRACES D'ÉROSION ET CATÉGORISATION DES TYPES D'ÉROSION

Par

Rody Nigel, Ph.D.

Karem Chokmani, Ph.D.

Institut national de la recherche scientifique (INRS)

Centre Eau Terre Environnement

Québec (QC), Canada

G1K 9A9

Rapport de recherche R-1382

Septembre 2012

AVANT PROPOS

Ce rapport contient les résultats de relevés de traces d'érosion faits pendant les mois d'avril et de mai 2012 dans le bassin versant La Chevrotière dans le cadre du projet « Cartographie d'érosion hydrique du sol par télédétection satellitaire à très haute résolution spatiale – application aux terres agricoles à proximité des bandes riveraines », et financé par le programme de Soutien à l'Innovation en Agroalimentaire de la MAPAQ pour la période 2012–2013. Les relevés terrains ont été réalisés pendant 4 journées : mardi 24 au jeudi 26 avril, et mardi 8 mai 2012. Deux autres journées ont été consacrées à la visite de sites d'érosion à relever avec la CAPSA : vendredi 20 avril et mardi 1^{er} mai. Nos remerciements vont aux personnes suivantes pour leurs participations dans ce projet: Philippe Dufour et Stéphane Blouin de la CAPSA, Julio Navaro, étudiant à la maîtrise, INRS-ETE, et Yassin Aljane et Rachid Lhissou, stagiaires à l'INRS-ETE.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT PROPOS.....	III
LISTE DES FIGURES.....	VII
LISTE DES TABLEAUX	IX
1 INTRODUCTION.....	1
2 SITE D'ÉTUDE.....	3
2.1 GÉOLOGIE	4
2.2 TOPOGRAPHIE	5
2.3 SOLS	5
2.4 CLIMAT ET HYDROLOGIE DE SURFACE	6
2.5 ZONE D'ÉROSION GÉNÉRALE	7
2.6 ZONE D'ÉROSION CRITIQUE DES TERRES AGRICOLES.....	9
2.7 CADRE RÉGLEMENTAIRE.....	10
2.7.1 <i>La Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables.....</i>	<i>10</i>
2.7.2 <i>Règlement sur les Exploitations Agricoles.....</i>	<i>13</i>
2.7.3 <i>Les intervenants dans l'application des règlements.....</i>	<i>13</i>
2.7.3.1 <i>Le cas des bandes riveraines du bassin versant La Chevrotière.....</i>	<i>14</i>
3 MÉTHODOLOGIE	15
3.1 BUDGET ET SORTIE TERRAIN.....	15
3.2 ÉQUIPEMENT.....	15
3.3 PROCÉDURE	15
3.3.1 <i>Localisation des traces.....</i>	<i>16</i>
3.3.2 <i>Relevés des traces</i>	<i>17</i>
3.3.3 <i>La micro-topographie et le paysage immédiats</i>	<i>18</i>
3.4 TRAITEMENTS DE DONNÉES RELEVÉES.....	21
3.4.1 <i>Géo-référencement et hyperlien des photographies et vidéos.....</i>	<i>21</i>
3.4.2 <i>Digitalisation et géo-référencement des traces relevées.....</i>	<i>23</i>
3.4.3 <i>Catégorisation des traces relevées.....</i>	<i>23</i>
4 RÉSULTATS.....	27
4.1 SORTIES EFFECTUÉES	27
4.2 PLUVIOMÉTRIE ET DÉBIT DE LA RIVIÈRE LORS DU RELEVÉ	27
4.3 ZONE VISITÉES	29
4.3.1 <i>Zone 1.....</i>	<i>31</i>
4.3.2 <i>Zone 2.....</i>	<i>33</i>
4.3.3 <i>Zone 3.....</i>	<i>35</i>
4.3.4 <i>Zone 4.....</i>	<i>37</i>

4.3.5	Zone 5.....	39
4.3.6	Zone 6.....	42
4.3.7	Zone 7.....	45
4.3.8	Zone 8.....	48
4.3.9	Zone 9.....	51
4.3.10	Zone 10.....	52
4.3.11	Zone 11.....	53
4.3.12	Zone 12.....	55
4.4	CATÉGORIES DES TRACES RELEVÉES.....	57
4.4.1	Catégorie d'érosion et zone visitée	59
4.4.2	Catégorie d'érosion et pente du terrain	61
4.4.3	Catégorie d'érosion et type de sol.....	63
5	DISCUSSION	65
5.1	MESURE PROPOSÉE POUR LES PENTES CULTIVÉES	65
5.1.1	<i>Le ravinement au champ connecté à la berge</i>	<i>65</i>
5.1.2	<i>Érosion en nappe et ravinement au champ</i>	<i>70</i>
5.1.3	<i>Érosion due au mauvais drainage de dépression.....</i>	<i>71</i>
5.1.4	<i>Érosion due à la résurgence d'écoulement hypodermique ou de la nappe phréatique.....</i>	<i>71</i>
5.1.5	<i>Érosion due au mauvais drainage de puisard.....</i>	<i>71</i>
5.1.6	<i>Érosion aux confluences.....</i>	<i>71</i>
5.1.7	<i>Ravinement au champ connecté aux fossés.....</i>	<i>72</i>
5.1.8	<i>Ravinement des berges.....</i>	<i>72</i>
5.1.9	<i>Érosion en tunnel</i>	<i>72</i>
5.2	DISCUSSION GÉNÉRALE.....	72
6	CONCLUSION.....	75
7	RÉFÉRENCES.....	77

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Bassin versant la Chevrotière.....	3
Figure 2.	Les sols du bassin versant.	6
Figure 3.	Les 40 zones d'érosion, toutes importances confondues (zone agricole, berges, etc.) Du bassin versant.....	8
Figure 4.	Les 14 zones d'érosion critique suivies par la CAPSA pour la plantation d'arbuste le long de la bande riveraine.	9
Figure 5.	Largeur des bandes riveraines, source MDDEP (2007b).....	11
Figure 6.	Largeur d'une bande riveraine en milieu agricole, source MDDEP (2007b).....	12
Figure 7.	Fonctions importantes et rentables des bandes riveraines pour les exploitations agricoles.....	13
Figure 8.	Localisation d'une des traces d'érosion à relever	16
Figure 9.	La localisation de la trace.....	17
Figure 10.	Relevé des traces.....	18
Figure 11.	Quelques photos prises pour les éléments de la micro-topographie et du paysage pour une zone d'érosion.	20
Figure 12.	L'emplacement des photos des éléments de la micro-topographie et du paysage prises pour une zone d'érosion sur terre agricole avec sol nu.....	22
Figure 13.	Pluviométrie et débit de rivière avant et durant les relevés.	28
Figure 14.	Les 12 zones d'érosion relevées.....	29
Figure 15.	La zone 1	32
Figure 16.	Zone 2	34
Figure 17.	La zone 3.....	36
Figure 18.	La zone 4.....	38
Figure 19.	Ravinement au champ connecté au fossé (photo # 455 de la Figure 18).....	39
Figure 20.	La zone 5.....	41
Figure 21.	La zone 6.....	43
Figure 22.	Érosion en nappe à l'extrême Ouest du site.....	44
Figure 23.	Sols nus à l'extrême est du site	44
Figure 24.	Érosion en nappe après 2ième labourage du sol et évènement de pluie érosive.	45
Figure 25.	La zone 7.....	46

Figure 26. Ravinement des berges.....	47
Figure 27. Érosion due au mauvais drainage des dépressions.....	47
Figure 28. La zone 8.	49
Figure 29. Érosion aux confluences.	50
Figure 30. Érosion en tunnel.	50
Figure 31. La zone 9.....	51
Figure 32. La zone 10.....	52
Figure 33. Érosion due au mauvais drainage de puisard.	53
Figure 34. La zone 11.....	54
Figure 35. Ravinement au champ connecté à la berge	55
Figure 36. La zone 12.....	56
Figure 37. Les différentes catégories d'érosion observées.....	58
Figure 38. Direction d'écoulement d'eau et les pentes cultivées.	67
Figure 39. Aménagement proposé	69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Pluviométrie mensuelle moyenne (1976–2006) de avril à octobre.....	7
Tableau 2. Caractéristiques des zones visitées.	30
Tableau 3. L'ordre d'importance de longueur de trace relevée dans chaque catégorie....	57
Tableau 4. Statistique des catégories et zones relevées	60
Tableau 5. Statistique des pentes pour les différentes catégories d'érosion.	62
Tableau 6. Statistique de catégorie d'érosion et type de sol.	64

1 INTRODUCTION

Durant toute l'année, c'est pendant le printemps, juste après la fonte de neige, que le processus d'érosion est le plus sévère. Durant cette période, la végétation qui couvre la terre agricole offre son plus bas niveau de protection contre l'érosion. En même temps, il y a un labourage du sol, qui diminue encore plus cette protection végétale ainsi que la résistance des particules du sol au détachement par ruissellement.

Un projet d'extraction des traces linéaires d'érosion à partir d'images satellitaires à très haute résolution spatiale est en cours pour le bassin versant la Chevrotière (108 km²) près de Portneuf. Une image du satellite worldview2 a été prise en septembre 2011 afin d'y caractériser la végétation. L'image a une résolution spatiale de 50 cm pour la bande panchromatique. Pour les bandes multi-spectrales, la résolution est de 2 m. Une paire d'image stéréoscopique du même satellite a pu être prise le 14 avril 2012. Cette paire d'image a servi à extraire un modèle numérique de terrain à 1 m résolution et elle caractérise aussi le sol nu après la fonte de neige.

La validation de la procédure d'extraction des traces d'érosion requiert des données de relevés sur le terrain (tels que des relevés des marques ou des traces d'érosion). Idéalement, les relevés doivent être faits au même moment que l'imagerie satellitaire a été prise. Une partie des relevés servira à la création de la procédure d'extraction des traces d'érosion et l'autre partie servira à la validation des résultats d'extractions obtenues.

Ce rapport donne une description des relevés faits sur le terrain du bassin versant la Chevrotière. Les relevés se sont concentrés sur les terres agricoles proches des bandes riveraines et qui ont des sols nus (ou avec peu de végétation). Les traces d'érosion relevées sont aussi analysées et catégorisées afin d'y étudier les processus d'érosion prévalant sur les zones relevées et de proposer aussi des mesures de conservation.

2 SITE D'ÉTUDE

Le site d'étude est le bassin versant de la rivière La Chevrotière (Figure 1). Le projet est mené en collaboration avec la CAPSA (organisme en charge de l'organisation de la gestion intégrée de l'eau dans le bassin versant).

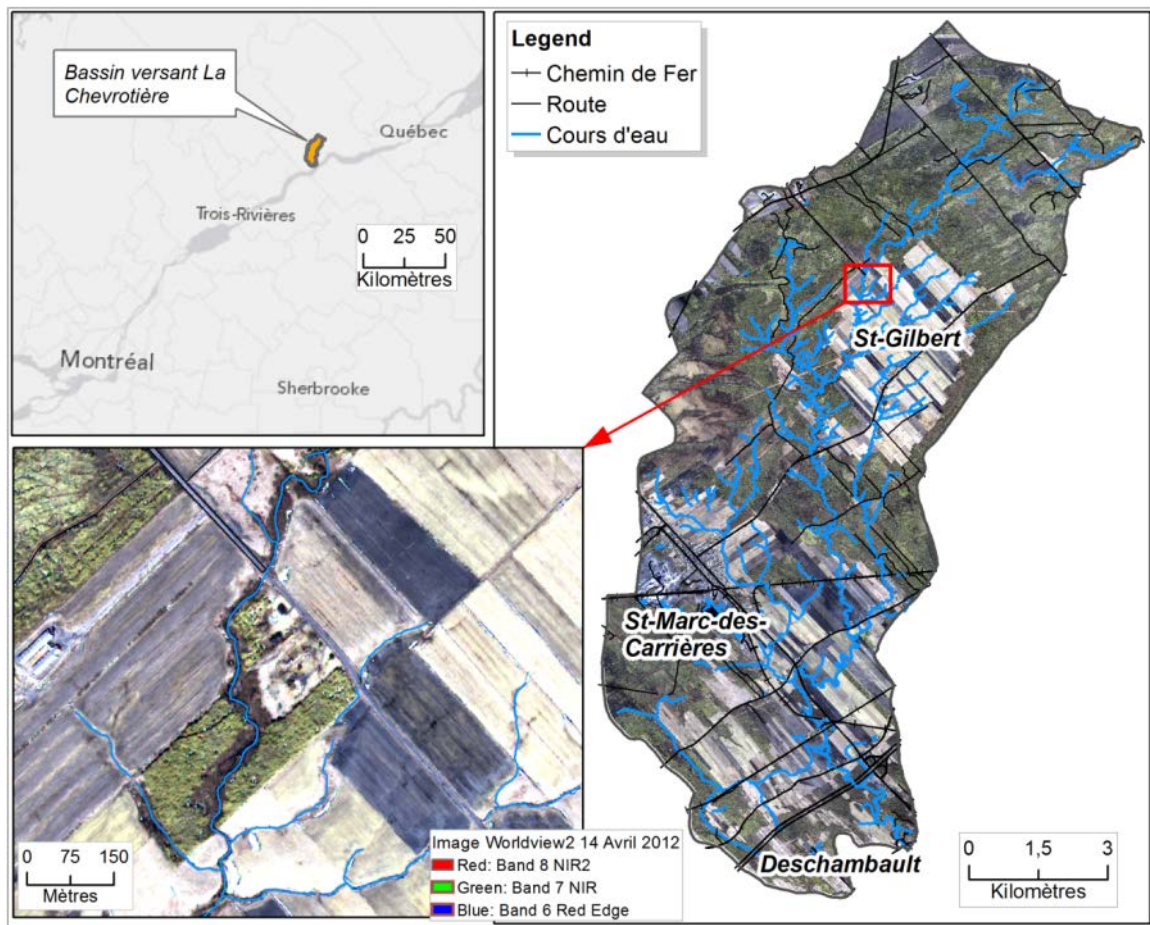


Figure 1. Bassin versant la Chevrotière.

Le bassin versant s'étend sur 108 km² (MDDEP, Centre d'Expertise Hydrique du Québec). Il couvre deux régions administratives : la Capitale Nationale (03) et la Mauricie (04), et deux Municipalités Régionales de Comté (MRC) : Portneuf et Les Chenaux. La rivière se trouve dans les Basses-Terres du Saint-Laurent.

Elle prend sa source dans le sud de la municipalité de Sainte-Christine-d'Auvergne dans un milieu humide. Son lit principal, Le Grand-bras, traverse les municipalités de Portneuf, Saint-Gilbert, Saint-Marc-des-Carières et Deschambault-Grondines, pour rejoindre le fleuve Saint-Laurent entre les

agglomérations de Deschambault et de Grondines. La Chevrotière traverse un paysage à la fois forestier et agricole.

Le bassin versant fait partie des bassins prioritaires pour la mise en œuvre de la gestion intégrée de l'eau. Il constitue un cas typique de la problématique de la gestion de l'eau en milieu agricole : un réseau hydrographique très ramifié, des milieux humides et une occupation du territoire diversifiée avec une présence marquée du secteur agricole. En effet, l'activité économique principale des municipalités est l'agriculture (des producteurs agricoles essentiellement spécialisés en production bovine et laitière).

Les lacs, très peu présents sur le territoire, sont pour la plupart de petite taille. Le plus grand, localisé à Saint-Marc-Des-Carières près du ruisseau des Carières, possède une superficie d'environ 77 660 m².

2.1 Géologie

Au plan géologique, la partie sud du bassin versant est dans la province géologique de la Plate-forme du Saint-Laurent, alors que la partie nord du bassin versant est dans la province géologique de Grenville (bouclier Canadien). Le Grenville (1,2 Ga à 950 Ma) est la dernière province géologique précambrienne (4,03 Ga à 544 Ma) à s'être formée dans le Bouclier canadien, et présente toutes les caractéristiques d'une chaîne de montagnes plissée (orogène) (Bourque, 2004).

Le Grenville se compose d'une grande variété de roches ignées et sédimentaires d'âge protérozoïque, lesquelles, lors de l'orogénie grenvillienne il y a environ un milliard d'années, ont subi de fortes déformations et se sont métamorphosées. Cela a résulté en une lithologie comprenant une grande proportion de roches intrusives métamorphosées (complexe gneissique comprenant du gneiss gris) ainsi que des roches intrusives (MRNF, 2006).

La Plate-forme du Saint-Laurent s'est développée à la fin de l'ère l'ère protérozoïque (fin du Précambrien) et durant l'ère paléozoïque (périodes du Cambrien supérieur et de l'Ordovicien), il y a de 700 à 350 millions d'années (MRNF, 2005). Ses strates de roches sédimentaires horizontales reposent en discordance de socle sur les roches précambriennes (~1 Ma) de la Province de Grenville (MRNF, 2006). Au Quaternaire (1,65 Ma à aujourd'hui), de longues périodes de glaciation ont affecté le territoire québécois en le rabotant, par des mouvements répétés d'avancées et de retrait des glaciers. Ceci eut pour effet de laisser des couches importantes de dépôts glaciaires qui recouvrent de grandes superficies dans le sud de la province. Ces dépôts représentent maintenant d'importantes sources de

sables et de graviers, comme en témoigne la présence de sites actifs d'extraction de substances minérales de surface (sablères et carrières) dans la région de Portneuf, à Saint-Marc-des-Carières, Deschambault-Grondines et Saint-Gilbert par exemple (MRNF, 2005).

2.2 Topographie

Au plan topographique, le bassin versant commence aux berges du fleuve St-Laurent pour atteindre une élévation de 150 m dans la partie nord. Un modèle numérique de terrain (MNT) pour le bassin versant à 1 m résolution a été produit par stéréoscopie optique avec les images d'avril 2012. Basée sur le calcul des pentes avec ce MNT, 40% du bassin versant ont une pente 0–2% suivi de 47% du bassin versant avec une pente 2–8%, dont la plupart sont en forêts, habitations et exploitations agricoles. Aux emplacements des cours d'eau, le terrain est très vallonné, et c'est là que se situent les terres ayant plus de 8% de pente, incluant une majorité sous forme d'exploitation agricole mais aussi quelques forêts et terrains en friche. Une petite partie de ces terres en pente se trouve aussi dans la carrière de St-Marc-des-Carières.

2.3 Sols

Au plan pédologique, les multiples sols présents dans le bassin versant appartiennent à cinq ordres taxonomiques (Figure 2) définis par AAC (2010):

- Brunisols (sols formés sous couvert forestier, idéal pour la production agricole),
- Gleysols (saturation d'eau, production agricole limitée),
- Podzols (sols formés sur des matériaux parentaux acides sous une végétation de forêt),
- Régosols (sols sableux faiblement développés avec drainage généralement rapide à imparfait),
et
- Organique (sols saturés en eau sur une période prolongée).

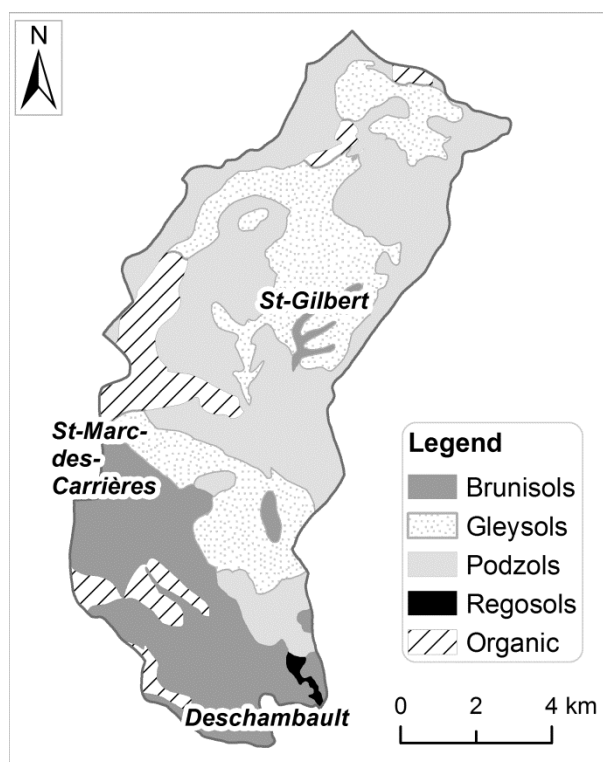


Figure 2. Les sols du bassin versant.

Les sols ont majoritairement une texture loameuse-grossière (à Saint-Marc-des-Carières et à Deschambault) et sableuse (autour de Saint-Gilbert). Les autres textures sont argileuse (à Saint-Gilbert) et lomeux-squelettique à l'est de St-Gilbert (MAPAQ-IRDA, 2003). Les classes de drainage du bassin versant sont majoritairement en 4 catégories allant de modérément bien drainé à très mal drainé. Les classes de drainage sur les terres agricoles de St-Gilbert et de St-Marc-des-Carières sont en majorité imparfaitement, mal et très mal drainé.

2.4 Climat et hydrologie de surface

Le climat qui prévaut dans le bassin versant est du type continental humide. Cela comporte d'importants écarts de température avec un été chaud, un hiver froid et des précipitations abondantes. Les températures moyennes annuelles oscillent entre 4,2 et 5,8 °C. La précipitation (pluie et neige) annuelle moyenne enregistrée à la station de Deschambault (période 1976–2006) est 1132 mm (intervalle 943–1471 mm). La pluviométrie annuelle moyenne est 932 mm (intervalle 695–1227 mm). Sur la même période (1976–2006), la pluie moyenne reçue au mois d'avril est de 73 mm (intervalle 7–154 mm) (EC, 2007). La Tableau 1 donne les valeurs pour les autres mois d'avril à octobre, qui est la période où le risque d'érosion hydrique du sol est le plus élevé.

Tableau 1. Pluviométrie mensuelle moyenne (1976–2006) de avril à octobre

Mois	Pluviométrie (1976–2006)		
	Moyenne / mm	Min / mm	Max / mm
Avril	73	7	154
Mai	101	29	233
Juin	109	33	221
Juillet	125	55	224
Août	109	31	181
Septembre	120	60	225
Octobre	100	36	159

Source : (EC, 2007)

La rivière la Chevrotière prendrait sa source dans un milieu humide (tourbière) au nord de St-Gilbert. La rivière mesure environ 29 km et a une pente moyenne d'environ 1,0 % (CAPSA, 2011). Le débit journalier annuel moyen (2006–2010) de la rivière La Chevrotière, près de l'exutoire, est de 0,35 m³/s, avec le mois d'avril ayant le plus gros débit journalier moyen (1,147 m³/s, période 2006–2010) (MDDE-CEHQ, 2011). Donc, même si en avril la pluviométrie totale n'est pas la plus élevée, il demeure néanmoins le mois où le processus du ruissellement et de l'érosion est le plus fort, et cela dû aux autres facteurs tels que la fonte de neige, la saturation d'eau dans le sol et la présence de sol nu travaillé avec peu de végétation protectrice.

2.5 Zone d'érosion générale

Il existe de nombreuses zones d'érosion au sein du bassin versant de La Chevrotière. Lors du portrait préliminaire du bassin versant en 2011, la CAPSA a dénombré une quarantaine de zones d'érosion (Figure 3), toutes importances confondues (zone agricole, berges, etc.), dont une dizaine sont plus problématiques.

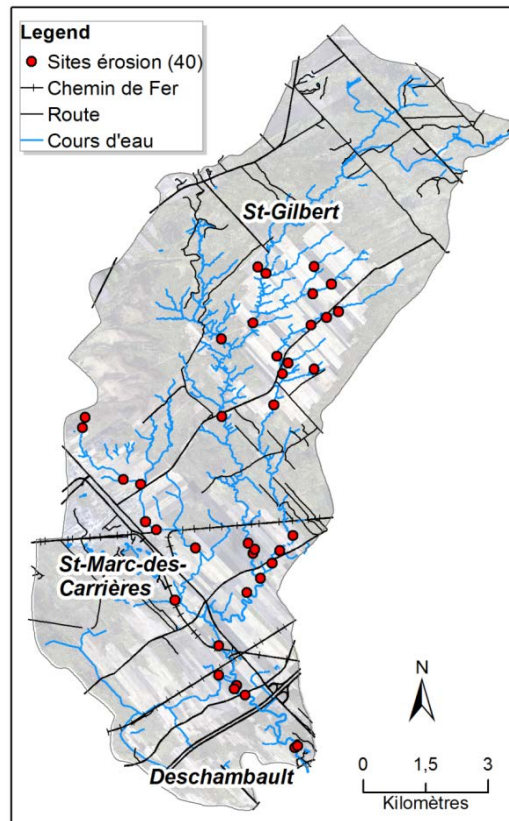


Figure 3. Les 40 zones d'érosion, toutes importances confondues (zone agricole, berges, etc.) du bassin versant

Les zones d'érosion importantes répertoriées sont les suivantes (CAPSA, 2011):

- Amont du grand bras de la rivière La Chevrotière, à Saint-Gilbert près de la route du Moulin;
- Tributaire de La Chevrotière, en aval de la prise d'eau potable de Saint-Gilbert;
- Mi-parcours de La Chevrotière, entre le ruisseau Naud et le chemin Dionne à Saint-Gilbert;
- Mi-parcours du tributaire le Petit Bras de La Chevrotière, entre la rue principale et le chemin Dionne à Saint-Gilbert;
- Amont du ruisseau du Moulin, à l'angle de la rue Saint-Gilbert et du rand de l'Église Sud au nord-est de Saint-Marc-des-Carières (zone d'érosion très étendue où sillonnent plusieurs petits cours d'eau intermittents);
- À la jonction des trois ruisseaux du Moulin, des Carières et Perreault, en amont du 3e rang à Saint-Marc-des-Carières;
- Ruisseau Gariépy (aval du bassin La Chevrotière), à la route Dussault (362) entre Deschambault et Grondines;
- Aval de la rivière La Chevrotière, en aval de l'autoroute Félix-Leclerc (40) entre Deschambault et Grondines;

2.6 Zone d'érosion critique des terres agricoles

Concernant spécifiquement les traces d'érosion sur les terres agricoles et proches des bandes riveraines, la CAPSA a digitalisé, sous forme de polygone, pas moins de 14 zones d'érosion critique (Figure 4). Ces zones sont données priorité lors des projets de plantation d'arbuste le long de la bande riveraine.

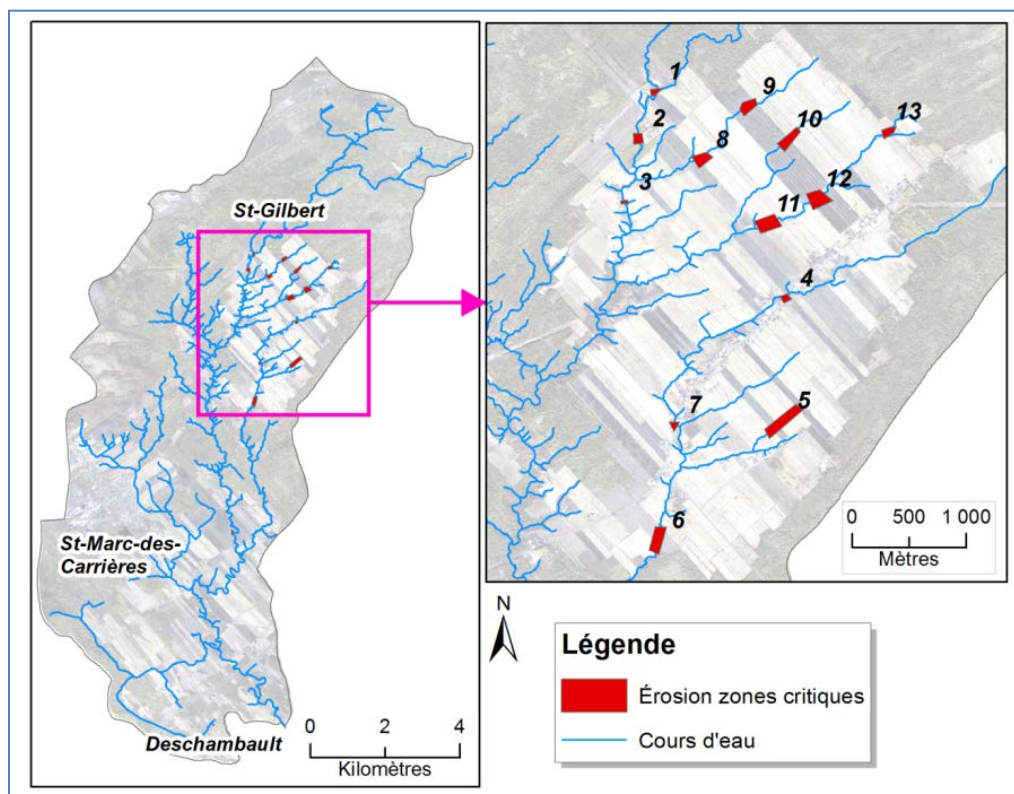


Figure 4. Les 14 zones d'érosion critique suivies par la CAPSA pour la plantation d'arbuste le long de la bande riveraine.

Puisque les zones d'érosion les plus critiques sont déjà connues, les relevés de traces d'érosion se concentreront sur eux. La plupart de ces zones d'érosion sont localisées dans la commune de St-Gilbert. Elles ont des sols nus (labourés) ou qui ont été cultivés l'année précédente. Elles sont sur des terrains en pente et sont près des berges (ou des bandes riveraines). La bande riveraine joue un rôle important dans la protection des cours d'eau en remplissant des fonctions telles que : rétention des sédiments, absorption des nutriments, élimination des pesticides, stabilisation des berges, maintien de la biodiversité, écran face au réchauffement de l'eau, maintien d'oxygène dissous, régulation de débit, ainsi que des fonctions esthétiques, entre autres (MDDEP, 2007a). Dans cette optique, la bande riveraine est une mesure de conservation de l'eau contre l'érosion en amont sur la terre agricole.

2.7 Cadre réglementaire

Comme les relevés des traces d'érosion de ce projet-ci se concentreront sur les terres agricoles travaillées, et en pente et proches des bandes riveraines, il est important de faire un survol du cadre réglementaire concernant les bandes riveraines (et terres agricoles) en vigueur. Actuellement, c'est par la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* que le gouvernement tente de protéger les bandes riveraines des lacs et cours d'eau (MDDEP, 2007a), et ainsi leur permettre de continuer à jouer leur rôle de conservation de l'eau. Ajouter à cela, il y a la réglementation sur les exploitations agricoles (REA) (MDDEP, 2002), mais ce dernier touche plus l'application des fertilisants dans le champ.

2.7.1 La Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables

Le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP, 2007a) considère que les rives, le littoral et les plaines inondables sont essentiels à la survie des composantes écologiques et biologiques des cours d'eau et des plans d'eau. La *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* (Q-2, r.35), visant la protection et la restauration des plans d'eau, concrétise cette volonté de gestion. La politique a été adoptée le 22 décembre 1987 sur proposition du ministre de l'Environnement conformément à l'article 2.1 de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE). Elle a ensuite été révisée à trois reprises, soit en 1995, en 1996 et en 2005. Dans son ensemble, la Politique concerne tous les cours d'eau, de toutes tailles, à débit régulier ou intermittent, naturels ou artificiels, y compris les fossés qui drainent plus de deux terrains.

La politique stipule que la bande riveraine est une bande de terre bordant les lacs et cours d'eau et assurant la transition entre le milieu aquatique et le milieu terrestre. Elle s'étend vers l'intérieur des terres à partir de la ligne des hautes eaux. La ligne des hautes eaux est l'endroit où l'on passe d'une prédominance de plantes aquatiques à une prédominance de plantes terrestres, ou s'il n'y a pas de plantes aquatiques, à l'endroit où les plantes terrestres s'arrêtent en direction du plan d'eau. Elle délimite donc le littoral et la rive des lacs et des cours d'eau. Cette ligne peut être déterminée de différentes façons, telles que la ligne naturelle des hautes eaux, la cote maximale d'exploitation d'un barrage ou encore le haut d'un mur de soutènement (MDDEP, 2007a).

La délimitation de bandes riveraines, en matière de largeurs réglementaires, se fonde avant tout sur le zonage territorial (agricole, résidentiel, municipal, industriel, ou forestier public...), mais également sur l'inclinaison de la pente. On retrouve ainsi dans la Politique les normes minimales de largeur des

bandes riveraines suivantes, mesurées horizontalement à partir de la ligne naturelle des hautes eaux pour (Figure 5):

- Le milieu résidentiel, municipal, industriel, commercial ou public : La bande riveraine a un minimum de 10 mètres lorsque la pente est inférieure à 30%, et 15 mètres lorsque la pente est continue et supérieure à 30 %,
- Le milieu agricole : La bande riveraine a un minimum de 1 ou 3 mètres
- Les forêts du domaine de l'État : la bande riveraine doit mesurer au moins 20 mètres

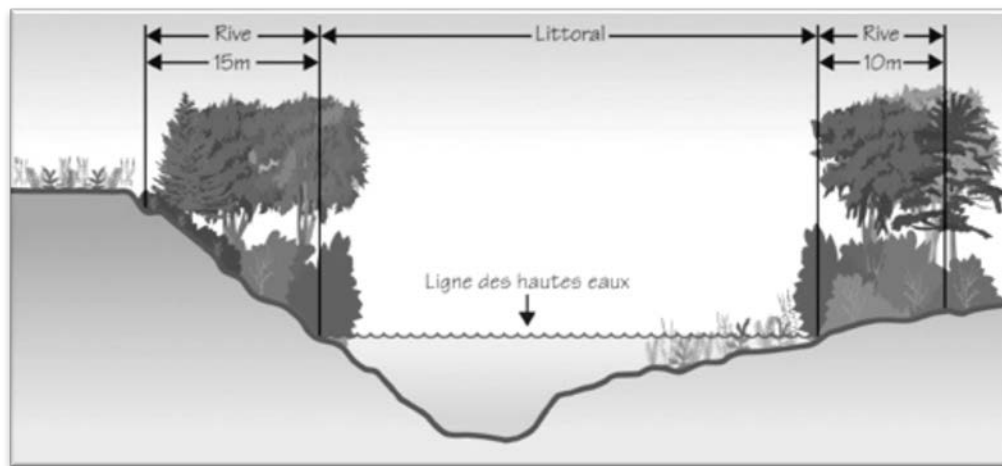


Figure 5. L'argeur des bandes riveraines, source MDDEP (2007b).

Dans la Figure 5, le *Littoral* est la partie des lacs et des cours d'eau définie à partir de la ligne des hautes eaux et la *Rive* est la bande riveraine de 10 à 15 mètres bordant les lacs et les cours d'eau, mesurée à partir de la ligne des hautes eaux (MDDEP, 2007a, b).

En milieu agricole, tous les cours d'eau, petits et grands, à débit régulier ou intermittent, artificiels ou naturels, ainsi que les fossés drainant plus de deux terrains sont concernés. La politique de protection est appliquée par l'entremise de la réglementation municipale, et elle interdit l'utilisation des rives et du littoral des cours d'eau pour réaliser des constructions, des ouvrages ou des travaux. L'article 3.2(f) de la politique décrit que '*la culture du sol à des fins d'exploitation agricole est permise à la condition de conserver une bande minimale de végétation de 3 m dont la largeur est mesurée à partir de la ligne des hautes eaux; de plus, s'il y a un talus et que le haut de celui-ci se situe à une distance inférieure à 3 m à partir de la ligne des hautes eaux, la largeur de la bande de végétation à conserver doit inclure un minimum d'un mètre sur le haut du talus*'. En somme, la bande riveraine peut être 1 ou 3 m. Cette règle est illustrée dans la Figure 6.

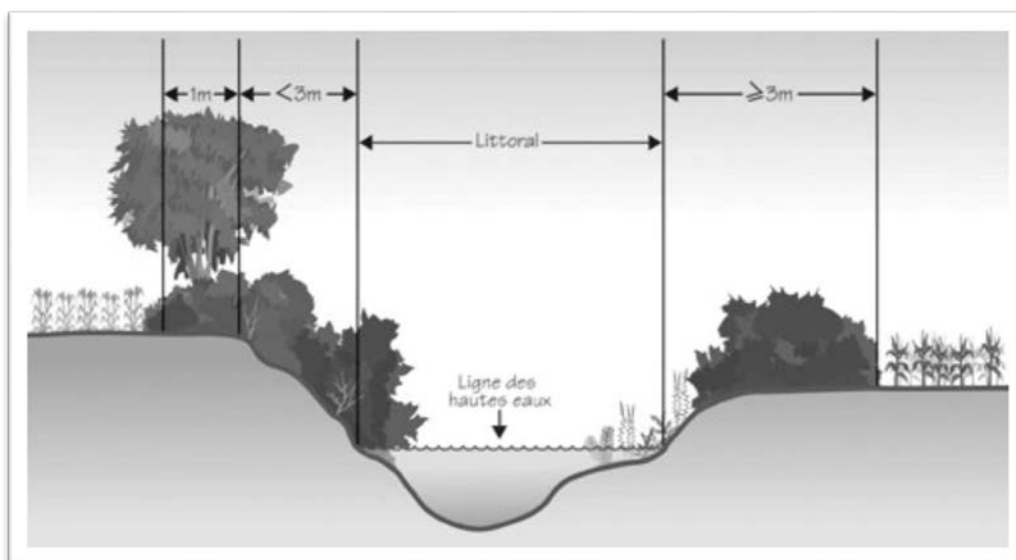


Figure 6. L'argeur d'une bande riveraine en milieu agricole, source MDDEP (2007b)

Protéger les bandes riveraines et le littoral d'un cours d'eau en milieu agricole rapporte à l'agriculteur, car les bandes riveraines exercent des fonctions importantes qui sont rentables pour les exploitations agricoles, telles que, (1) brise-vent naturel, (2) fonction paysagère, (3) régulateur du niveau de l'eau, (4) écran solaire, (5) rempart contre l'érosion, (6) richesse biologique, et (7) filtre contre la pollution. Chacune de ces numéros (1–7) est illustrée dans la Figure 7 (MDDEP, 2007b).



Figure 7. Fonctions importantes et rentables des bandes riveraines pour les exploitations agricoles

2.7.2 Règlement sur les Exploitations Agricoles

Dans le cas où une municipalité n'aurait pas encore adopté un règlement pour protéger les rives de son territoire, un texte législatif des règles d'application en milieu agricole prévoit certaines contraintes minimales. En effet, le Règlement sur les Exploitations Agricoles (REA, Q.2, r.26) du MDDEP, entré en vigueur en 2002, a comme objet d'assurer la protection de l'environnement, particulièrement celle de l'eau et du sol, contre la pollution causée par certaines activités agricoles.

Ce règlement s'applique aux élevages d'animaux et à leurs installations, aux ouvrages de stockage de leurs déjections et à l'épandage de celles-ci. Il s'applique également aux parcelles de sols utilisées pour la culture (excepté la sylviculture) ainsi qu'à l'utilisation des matières fertilisantes.

2.7.3 Les intervenants dans l'application des règlements

La Politique, qui est un acte du gouvernement et non du législateur, n'a pas valeur de loi ou de règlement et ne peut, par conséquent, être opposable directement aux justiciables. Cependant, le législateur a intégré la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* dans la *Loi sur l'Aménagement et l'Urbanisme* (LAU). Ainsi, l'effet des normes de la Politique est intensifié

jusqu'à rendre leurs adoptions par les municipalités et les Municipalités Régionale de Comté (MRC) obligatoires. Par la Loi sur les compétences municipales, les municipalités sont habilitées à agréer des règlements ou des mesures non réglementaires supplémentaires en matière d'environnement et de nuisances. Les MRC et les municipalités ont le pouvoir de sanctionner les exploitations ne respectant pas la réglementation. Comme pour les MRC, les municipalités ne disposent pas de moyens nécessaires pour effectuer un contrôle du respect des bandes riveraines en zone agricole. Leurs actions de contrôles s'effectuent bien souvent uniquement lors de la délivrance d'un permis de construire pour des installations agricoles ou résidentielles. C'est à ce niveau qu'elles contrôlent le bon respect des distances par rapport aux berges. Certaines municipalités appliquent les normes de la politique du MDDEP, et d'autres se démarquent par leur réglementation plus restrictive.

2.7.3.1 Le cas des bandes riveraines du bassin versant La Chevrotière

La MRC de Portneuf qui couvre la majeure partie du bassin versant la Chevrotière ne bénéficie pas de plan de gestion des bandes riveraines. Elle possède cependant un règlement de contrôle intérimaire (RCI 277) qui reprend la politique de protection des rives et des plaines inondables. Ces dispositions sont reprises au niveau des municipalités dans leur règlement de zonage. La MRC de Portneuf et les municipalités interviennent en cas d'infraction (non-respect de la bande riveraine). Les mises en infraction proviennent bien souvent de plaintes adressées à la municipalité ou lors d'une inspection par la municipalité ou la MRC. C'est principalement en milieu agricole que la réglementation n'est pas respectée. Malgré l'existence de programmes financiers (ex Prime-Vert de la MAPAQ) visant à promouvoir et diffuser les bonnes pratiques agricoles, les producteurs ne respectent pas toujours la réglementation mise en place par le MDDEP (Wirtensohn, 2011).

3 MÉTHODOLOGIE

3.1 Budget et sortie terrain

Le budget permettait au maximum 7 sorties sur le terrain, dont une journée devant être réservée pour une visite sur le terrain en automne. Ainsi, il y aurait au maximum 6 sorties sur le terrain en avril-mai 2012. Deux journées ont été réservées pour la visite des sites avec la CAPSA. Au final, 4 journées ont été disponibles pour les relevés.

3.2 Équipement

Les équipements utilisés lors des relevés sont :

- 1) Un ruban à mesurer ayant 50 m de long
- 2) Un plus petit ruban à mesurer avec une longueur de 3 m
- 3) Un GPS Magellan portatif
- 4) Du papier pour noter et dessiner les traces
- 5) Caméra photographique avec vidéo

3.3 Procédure

La procédure suivie pour les relevés est comme suit:

- 1) Lors de la visite initiale avec la CAPSA, identifier des traces d'érosion. Si des traces ne sont pas visibles, mais le sol est nu et en pente, les possibles emplacements futurs d'érosion sont notés, afin d'y revenir après des événements de pluie érosive.
- 2) Les emplacements des traces identifiées avec la CAPSA sont intégrés dans un GPS et un système d'information géographique (SIG).
- 3) Basé sur le nombre de traces à relever, une liste est dressée pour partager le travail entre les cinq jours de relevés qui sont budgétés pour le projet.
- 4) Le jour du relevé, la localisation du site est revue avec le GPS et le SIG. Le site est ainsi accédé directement.

- 5) Les traces d'érosion visibles sur le terrain sont relevées en notant les coordonnées GPS de début et de fin ainsi que le long de la trace. Aussi, la longueur, la profondeur et la largeur à différent segment sont notées. Des photographies et vidéos sont aussi prises. Des dessins, des sketches, et une analyse et une catégorisation préliminaire des traces d'érosion sont aussi faits sur place.
- 6) La micro-topographie et le paysage immédiats du trace relevée sont aussi pris en compte sous forme de photographies et vidéos géo-référencées. Ces données seront ensuite intégrées dans un SIG contenant les images satellitaires et les traces relevées.

Pour chacune des procédures listées ci-dessus, une description est donnée ci-dessous en commençant par la localisation des traces (point 4).

3.3.1 Localisation des traces

Une fois accéder au site, la trace d'érosion visitée auparavant est identifiée. Dans la Figure 8(a), on voit une trace visitée le vendredi 20 avril. Une fois sur place le mardi 24 avril, on est allé à l'endroit de la trace et elle est localisée (Figure 8(b)).

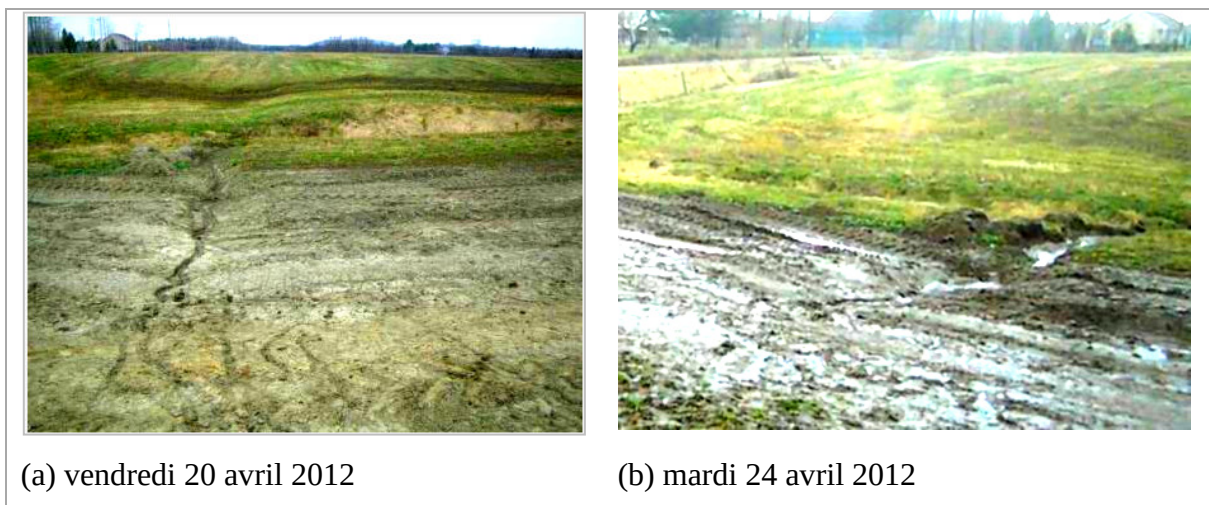


Figure 8. Localisation d'une des traces d'érosion à relever

Le vendredi 20 avril, le sol était sec. Par contre, le mardi 24 avril, après 3 jours de pluie, la trace s'était accentuée avec du ruissellement toujours en cours (Figure 9a et b). Dans la Figure 9(c), la trace est vue comme étant originaire en amont de la pente sur la planche agricole plate. Dans la Figure 9(d), le début de la trace est localisé au milieu de la planche agricole et où il y a un mauvais drainage des dépressions.

Pour donner une idée, cette trace d'érosion est de 161 m de long et la planche agricole est de 320 m de long (incluant les pentes jusqu'au talus et bandes riveraines des deux côtés de la planche).



Figure 9. La localisation de la trace. (a) ruissellement dans le ravineau de la trace. (b) une vue plus près du ruissellement. (c) la trace est localisée comme étant originaire en amont de la bande riveraine sur le sol agricole plat. (d) le début de la trace est localisé sur le milieu de la planche et où il y a un mauvais drainage des dépressions

En se basant sur cette procédure, tous les autres endroits, zones et traces visités avec la CAPSA sont relocalisés de nouveau une fois sur place, particulièrement le début, la fin et la connectivité sédimentologique de chaque trace.

3.3.2 Relevés des traces

Les caractéristiques physique de chaque trace sont relevées (longueur, profondeur et largeur). Aucun relevé des propriétés physique ou physico-chimique du sol n'est effectué. De telles informations seront obtenues des cartes du sol disponibles pour le bassin versant. Dans la Figure 10(a), on voit une mesure de la largeur à un segment d'une trace avec le ruban 3 m. Dans la Figure 10(b) une mesure de la

profondeur est montrée. Pour la Figure 10(c), la mesure de la longueur est faite avec le ruban 50 m ou avec le GPS si la longueur dépasse les 50 m. Dans la Figure 10(d), la connectivité de la trace est suivie et notée, depuis son début jusqu'à sa fin dans le talus ou la bande riveraine.

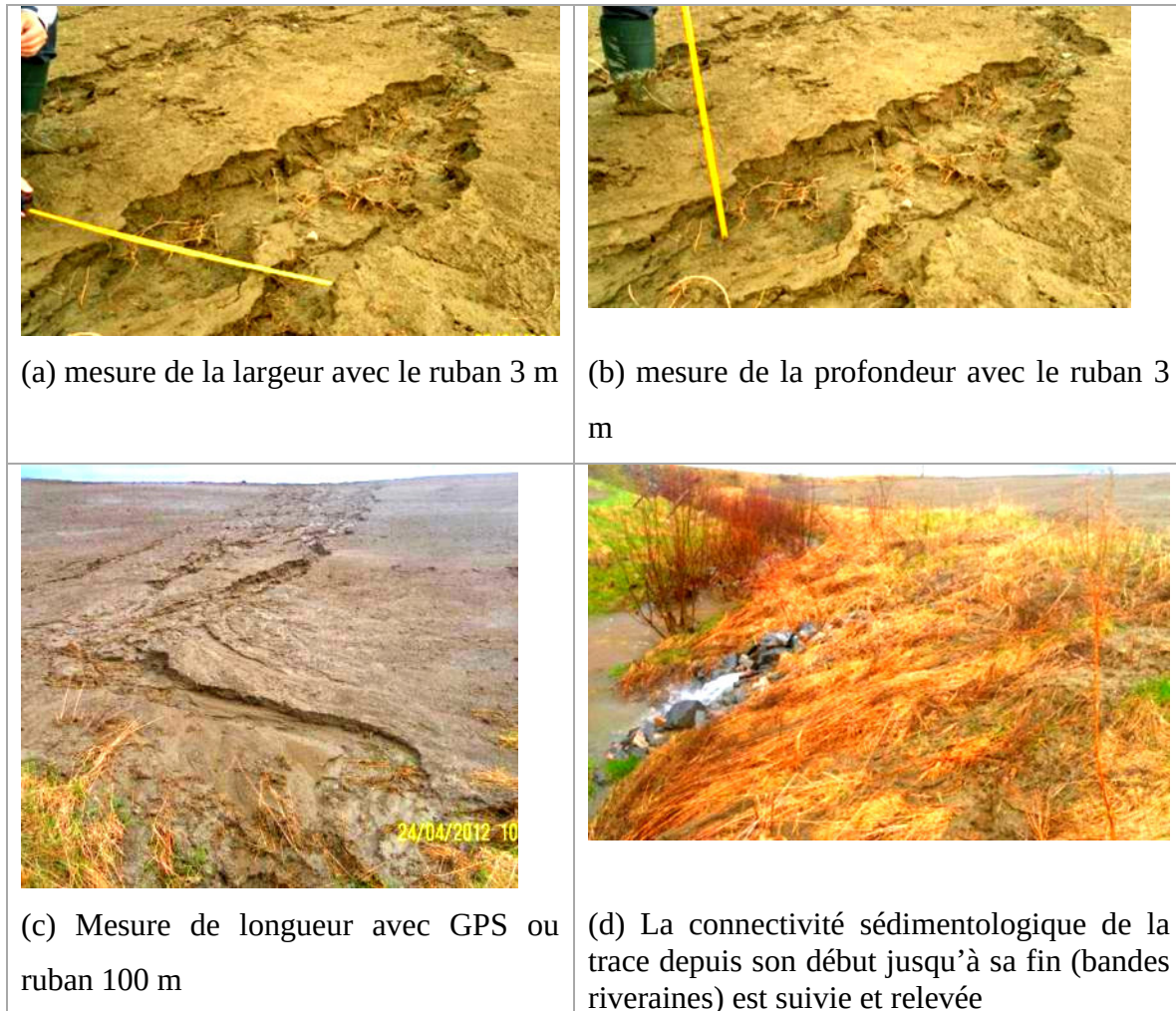


Figure 10. Relevé des traces. (a) mesure de la largeur avec le ruban 3 m. (b) mesure de la profondeur avec le ruban 3 m. (c) Mesure de longueur avec GPS ou ruban 100 m. (d) La connectivité de la trace depuis son début jusqu'à sa fin (bandes riveraines) est suivie et relevé

3.3.3 La micro-topographie et le paysage immédiats

La connectivité sédimentologique axée sur la micro-topographie et le paysage est très importante et doit être connue pour réussir à extraire les traces d'érosion (à partir de l'imagerie et le model numérique de terrain, MNT).

Par paysage, on entend : « *portion du territoire, soumise au regard, qui se compose à la fois d'éléments naturels et d'éléments aménagés par et pour les activités humaines. La flore, la faune, le relief, les*

cours d'eau, les constructions, les cultures, etc., sont autant d'éléments qui composent et façonnent le paysage. » (Grand Dictionnaire Terminologique Québec).

La présence de fossés, clôtures, voies de drainage et limites forestières, entre autres, diminue ou accentue le ruissellement, les ravinements, la sédimentation et la perte des sols. Cet effet de la micro-topographie et du paysage est un paramètre topographique déterminant pour l'érosion, et communément appelé 'gradient-et-longueur de la pente'. Les éléments de la micro-topographie et du paysage importants pour l'érosion et le ruissellement peuvent être mis en trois catégories :

1. Les voies de drainage (fossés, ruisseau, etc.),
2. Les ruptures d'écoulement (limites de forêt, clôture, route, etc.), et
3. Les brèches (ponceau, avaloire, tuyau de drainage souterrain).

La direction de l'écoulement, l'accumulation et le routage du ruissellement sur le model numérique de terrain (MNT) seront quelques-uns des paramètres à utiliser lors de la création de la procédure d'extraction des traces d'érosion. Ainsi, il est nécessaire de prendre des photos des éléments de la micro-topographie et du paysage lors des relevés des traces d'érosion et les géo-référencées dans un SIG.

Pour la zone d'érosion montrée dans la Figure 9 (page 17), quelques-unes des photos prises aux alentours sont montrées dans la Figure 11 (photos # 75, 76, 72 et 79). La photo # 75 montre la trace d'érosion finissant dans la bande riveraine et le ruisseau. La photo # 76 montre la route et le fossé. La photo # 72 montre le ruisseau et le ponceau. La photo # 79 montre l'aval du ruisseau et une autre terre agricole avec sol nu en pente près de la bande riveraine.



(a) Photo # 75, montrant la trace d'érosion finissant dans la bande riveraine et le ruisseau



(b) Photo # 76, montrant la route et fossé



(c) Photo # 72 montrant le ruisseau et le ponceau



(d) Photo # 79 montrant l'aval du ruisseau et l'autre terre agricole avec sol nu en pente près de la bande riveraine

Figure 11. Quelques photos prises pour les éléments de la micro-topographie et du paysage pour une zone d'érosion.

Idem pour les autres traces d'érosion relevées ainsi que pour un maximum d'endroit dans le bassin versant, des photos de la micro-topographie et du paysage sont prises. Plus tard, lorsque les éléments de la micro-topographie et du paysage seront extraits du model numérique du terrain (MNT) et de l'imagerie satellitaire, ces photos serviront de référence et d'interprétation.

3.4 Traitements de données relevées

Plus de 600 photos ont été prises sur le terrain. La première chose à faire a été de les géo-référencées dans la base SIG. Cette base SIG contient les images satellitaires ainsi que le model numérique de terrain. Des données auxiliaires obtenues de la CAPSA forment aussi parties de cette base SIG, notamment, le sol, le cadastre, les infrastructures, etc. Le SIG a la projection MTM7 définie pour cette partie du Québec (Modified Transverse Mercator, 7), avec le système de référence NAD83 (North American Datum 1983).

3.4.1 Géo-référencement et hyperlien des photographies et vidéos

Les photos prises sont géo-référencées manuellement en suivant la procédure suivante :

1. La photo est d'abord inspectée,
2. À l'endroit où la photo a été prise, un point GPS a aussi été relevé,
3. L'heure du prise de la photo (hh:mm:ss) correspond à l'heure que le point GPS a été enregistré,
4. En faisant la relation entre les deux heures, il possible de localisé la photo sur l'imagerie satellitaire,
5. Le point GPS n'est pas toujours au centimètre près à l'endroit qu'il devrait être car l'appareil GPS a une précision de quelques mètres puisque c'est un GPS de base (de poche),
6. Le point GPS en question est donc, décalé un tout petit peu au besoin, afin de correspondre le plus possible à sa position réelle,
7. Des repères sur l'image et correspondant aux éléments sur la photographie aident durant cette étape. Les repères sont, par exemple, les coins d'arbres, les courbes du cours d'eau, intersection de fossés, et même des traces d'érosion,
8. Une fois le point où l'image a été prise et connue, la prochaine étape et de définir le champ de vision de la photographie, sous la forme d'un polygone semi-triangulaire pointant dans la direction que la photo a été prise,
9. Lorsque la forme du polygone semi-triangulaire a été créée, l'image est rattachée à ce polygone en utilisant l'outil hyperlien disponible. Dans ce cas-ci, le SIG est fait avec le logiciel ArcGIS10 de ESRI (2012).

La Figure 12 montre les emplacements des photos présentées dans la Figure 11, page 20.

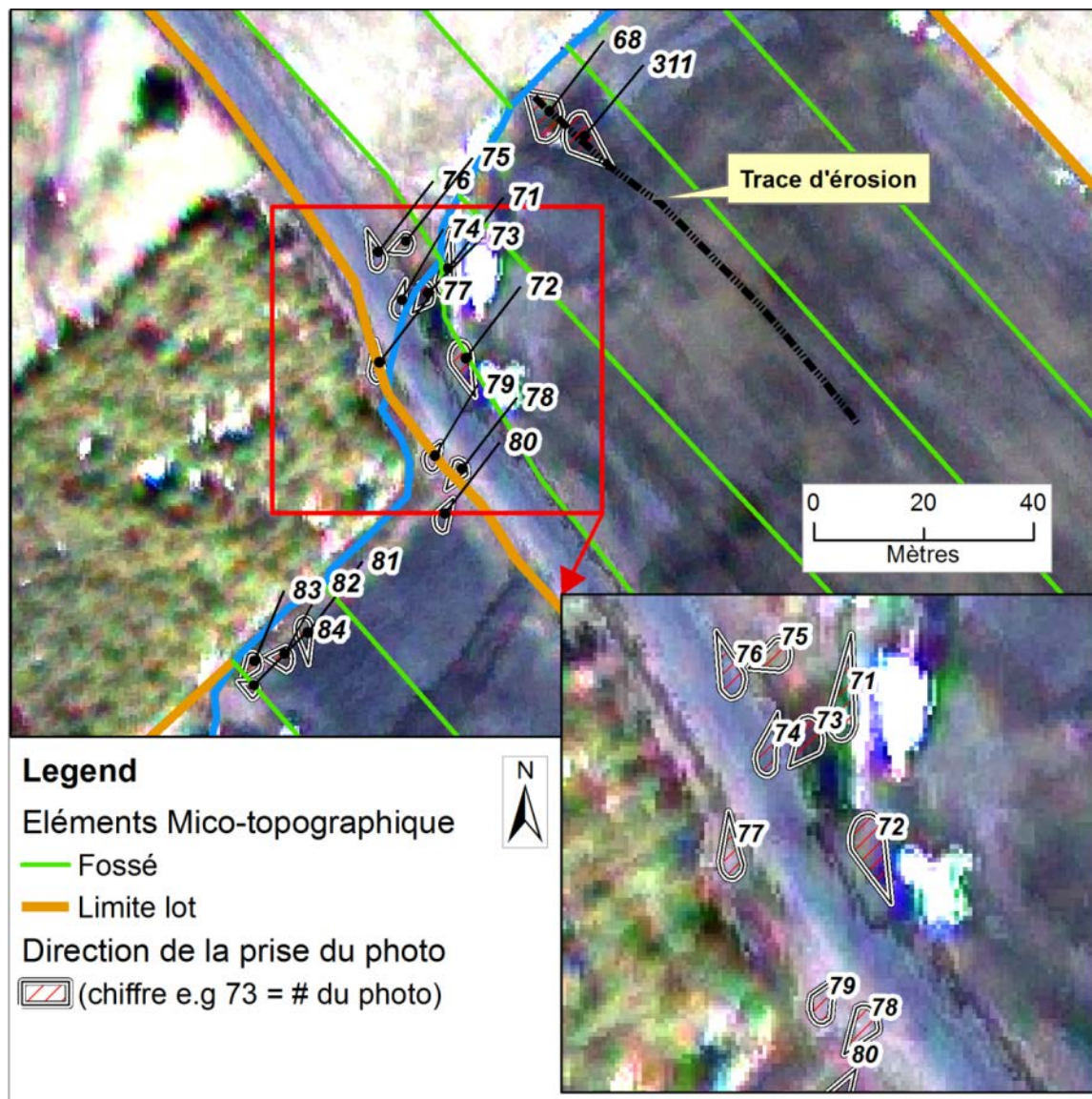


Figure 12. L'emplacement des photos des éléments de la micro-topographie et du paysage prises pour une zone d'érosion sur terre agricole avec sol nu

Les autres photos prises autour de cette zone d'érosion sont aussi montées dans la Figure 12. Avec cette procédure, 663 photos du bassin versant, principalement pour des traces d'érosion, sont géo-référencées dans le SIG du projet. La même procédure est suivie pour géo-référencer les vidéos, qui étaient au nombre de 12 au total. En cliquant sur les polygones des vidéos et photos, ces fichiers multimédia s'ouvrent automatiquement à l'écran.

3.4.2 Digitalisation et géo-référencement des traces relevées

Les points et lignes GPS ainsi que les photos étant géo-référencés dans le SIG, il est désormais possible de digitaliser les traces d'érosion relevées. Les croquis et dessins, ainsi que les mesures (longueur, largeur et profondeur) qui ont été faits sur le terrain sur du papier sont digitalisés et géo-référencés dans le SIG.

3.4.3 Catégorisation des traces relevées

Une fiche technique sur le diagnostic et solutions de problèmes d'érosion au champ a été réalisée par Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). Cette fiche technique présente les problèmes d'érosion et de drainage de surface fréquemment observés au champ, ainsi que les aménagements hydro-agricoles et les pratiques culturales les plus appropriées à chaque situation (AAC-MAPAQ, 2007a). À la base, les solutions proposées visent à :

- Réduire le volume et les débits d'eau ruisselée,
- Modifier la pente du terrain, intercepter et diriger le ruissellement de surface de façon à réduire sa vitesse, et
- Améliorer la structure du sol et protéger sa surface pour augmenter sa résistance à l'érosion.

La fiche technique présente d'une façon concrète avec photos en références des types d'érosion fréquemment observés au champ. Six (6) catégories d'érosion ont été élaborées, notamment :

1. **Érosion en nappe** : L'écoulement uniforme - ou non concentré - de l'eau sur la surface du sol peut arracher et entraîner des particules fines qui sont alors transportées vers les cours d'eau. Cette érosion est qualifiée d'érosion en nappe. À cause de son caractère diffus, ce type d'érosion est difficilement détectable, mais il peut causer des pertes de sol importantes.
2. **Ravinement au champ** : Lorsque l'eau qui ruisselle prend de la vitesse et se concentre dans certains canaux d'écoulement, elle peut éroder des quantités de sol importantes dans ces canaux, créant ainsi des rigoles ou des ravines.
3. **Érosion aux confluences** : Les confluences de fossés, rigoles et raies de curage sont très souvent sujettes à l'érosion car le volume et les débits de ruissellement y sont importants. Cette

érosion est accentuée par les différences d'élévation qui peuvent exister entre le tributaire et l'émissaire.

4. **Ravinement des berges** : Tout comme les confluences, les berges de cours d'eau sont des zones où le risque d'érosion est élevé, en raison de la concentration du ruissellement et de la différence d'élévation entre les champs et les cours d'eau.
5. **Érosion due au mauvais drainage des dépressions** : Le mauvais drainage des dépressions occasionne souvent un retard dans les travaux au champ. De plus, il arrive fréquemment que les travaux soient effectués avant que les dépressions ne soient complètement ressuyées, ce qui se traduit par des problèmes de compaction et par une aggravation des problèmes de drainage dans ces zones. Enfin, lorsque des dépressions remplies d'eau se drainent de manière incontrôlée, elles peuvent engendrer des problèmes de ravinement.
6. **Érosion due à la résurgence d'écoulement hypodermique ou de nappe phréatique** : L'écoulement hypodermique c'est quand l'eau voyage à faible profondeur sous la surface du sol, dans la direction de la pente du champ. Cette eau refait parfois surface au fond des dépressions, au bas des pentes ou encore dans les pentes si celles-ci sont très longues ou qu'elles comportent des replats. La nappe phréatique peut aussi remonter à la surface du sol (une source d'eau) quand le sous-sol est irrégulier. Ces résurgences peuvent entraîner des problèmes de compaction et d'érosion si l'écoulement n'est pas contrôlé.

Ces six catégories ont été observées sur le terrain lors des relevés et donc seront adoptées pour ce projet-ci. Deux autres types d'érosion ont été observés dans le champ. Elles ont donc été ajoutées à la liste, notamment :

7. **Érosion en tunnel** : L'eau s'infiltre à travers le sous-sol en formant des canaux souterrains. Cette érosion débute toujours sur la terre agricole à quelques mètres de la berge et se prolonge en souterrain pour ressurgir dans le bas du talus de la berge. Les causes d'érosion en tunnel observée sur le terrain sont dues à une pauvre couverture végétale, à de l'érosion en nappe et du ravinement au champ en amont, ainsi que la présence de pente qui augmente le ruissellement. Ce type d'érosion a été observé dans plus de 5 endroits différents.
8. **Érosion due aux mauvais drainages des puisards** : Les fossés situés sur les planches agricoles ne se terminent pas dans le cours d'eau, mais plutôt à quelques mètres de celui-ci. De là, l'eau est évacuée en souterrain vers le cours d'eau par un tuyau de drainage qui émerge en surface (du côté du fossé) en un sorte de système de puisard. Lorsque les débits d'eau

provenant du fossé excèdent la capacité de ce système de puisard à évacuer l'eau ou que le puisard est obstrué par du sédiment, il y a un débordement d'eau qui fraie son chemin en surface vers le cours d'eau causant ainsi de l'érosion. Ce type d'érosion a été recensé dans quelques-unes de ces types d'installations.

De plus, la catégorie d'érosion 2 ci-dessus (ravinement aux champs) a été élaborée pour créer deux autres catégories additionnelles. La catégorie 2 elle-même a été restreinte au ravinement au champ (purement) et ne contient pas les ravinelements aux champs connectés aux fossés ou connectés aux cours d'eau. Ainsi, les deux autres catégories définies pour ce projet sont :

9. **Ravinement au champ connecté aux berges** : L'eau qui ruisselle prend de la vitesse et se concentre dans certains canaux d'écoulement pour terminer sa course dans le talus, la bande riveraine ou la berge (c'est-à-dire le cours d'eau naturel).
10. **Ravinement au champ connecté aux fossés** : L'eau qui ruisselle prend de la vitesse et se concentre dans certains canaux d'écoulement pour terminer sa course dans les fossés des voies de drainage aménagés artificiellement pour évacuer l'eau de la planche agricole.

Ces deux catégories d'érosion ont été très observées sur le terrain, et ont été aussi inspirées du travail de Deslandes et Belvisi (2008), qui traitait de l'inventaire d'érosion sur les terres agricoles dans un bassin versant au Québec. La plus grande différence entre ces deux catégories d'érosion c'est que la première a lieu sur des terres fortement vallonnées (de par la transition géomorphologique entre la terre agricole et la berge du cours d'eau). Par contre, les ravinelements au champ connectés aux fossés n'ont pas de telles pentes.

4 RÉSULTATS

4.1 Sorties effectuées

Une première visite terrain a été faite le vendredi 20 avril 2012 afin de situer les zones d'érosion à relever. Cette visite a été menée par la CAPSA, et six zones ont été visitées. Sur la figure 3, ces zones ont les numéros 4, 6, 8, 9, 10, et 12. Les autres zones n'étaient pas en sol nu, mais plutôt en fourrage et/ou le pâturage. En examinant visuellement l'image satellitaire (figure 3), on peut constater que plus de la moitié des terres agricoles ne sont ou ne seront pas cultivées en cette année 2012, et seront plutôt laissées en fourrage ou pâturage (les sols nus ou travaillés ont une couleur foncée sur l'image de la figure 3). Après 3 jours de relevés, les 6 zones visitées (ainsi que trois autres zones) ont été couvertes (du mardi 24 avril au jeudi 26 avril). La semaine suivante, spécifiquement le mardi 1^{er} mai, une visite terrain a été effectuée avec le CAPSA afin de voir d'autres sites d'érosion, et qui ont été relevés le mardi 8 mai.

4.2 Pluviométrie et débit de la rivière lors du relevé

Durant la fin de semaine débutant le vendredi 20 avril et jusqu'au lundi 23 avril, un avertissement d'averse orageuse avec plus de 18 mm de pluie était en vigueur pour la région du bassin versant. Au bout du compte, la pluviométrie reçue a été :

1. 6,5 mm pour vendredi 20 avril,
2. 14 mm pour samedi 21 avril (+ 1,0 mm de neige),
3. 22,8 mm pour dimanche 22 avril, et
4. 22,3 mm pour lundi 23 avril.

Avant cela, pour le mois d'avril, de la pluie a été reçue seulement les 10 et 11 avril avec 7,4 mm et 1,0 mm, respectivement. La pluie a plus ou moins cessée le mardi 24 avril, et c'est ce jour-là que les relevés terrains ont pu débuter. La Figure 13 donne une indication de la pluviométrie enregistrée à la station de Deschambault et du débit de la rivière La Chevrotière, près de l'exutoire, avant et durant la période des relevés.

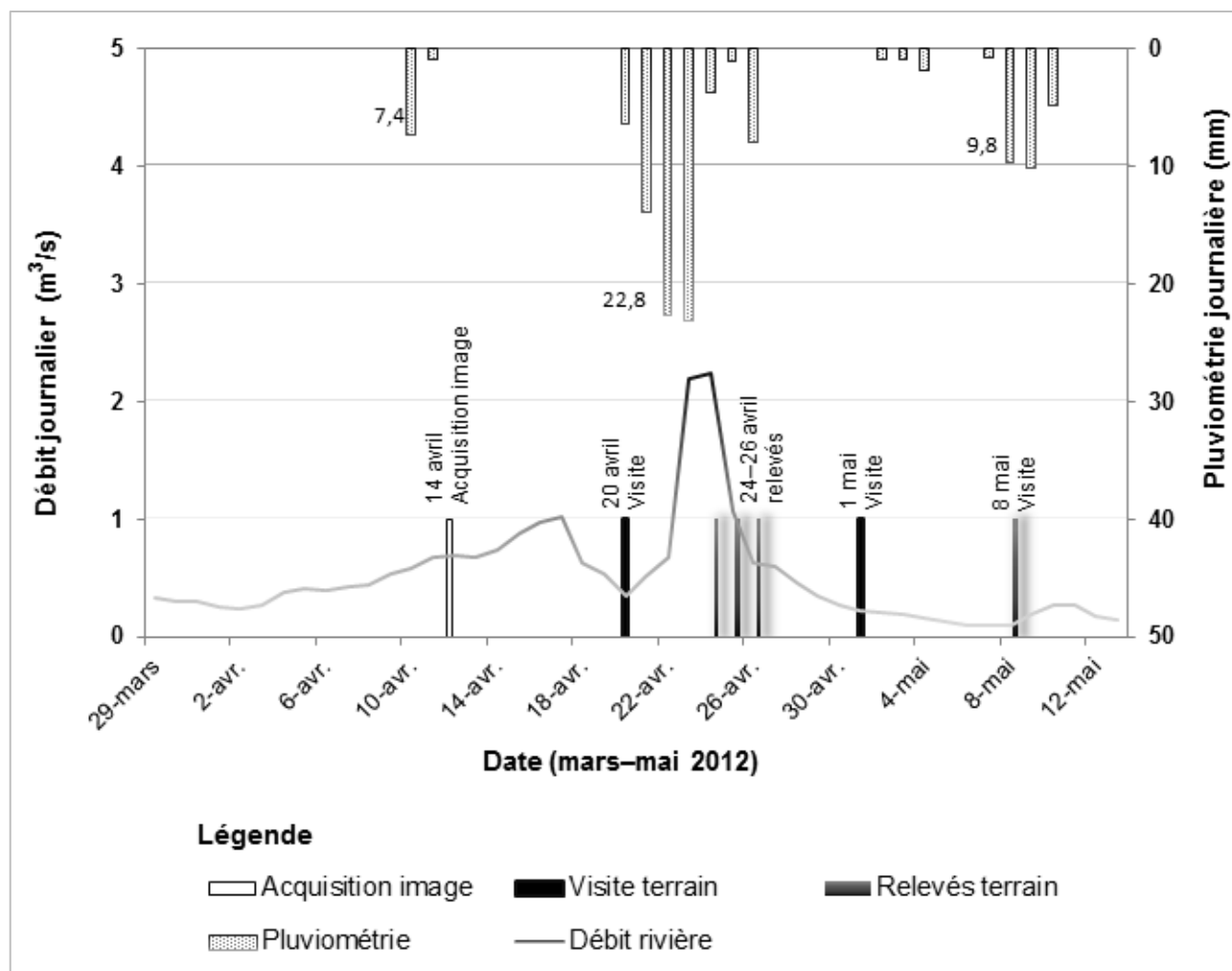


Figure 13. Pluviométrie et débit de rivière avant et durant les relevés.

On peut voir dans la Figure 13 que les plus gros événements de pluie d'érosive pour le mois d'avril ont eu lieu durant la période 20–23 avril 2012. Par conséquent, les relevés, qui ont commencés juste après cela, ont coïncidés avec la présence d'un très grand nombre de marque d'érosion sur le terrain. Concernant le débit de la rivière il suit la même tendance que la pluviométrie, avec un maximum de débit de $2,235 \text{ m}^3/\text{s}$ le 24 avril. Par comparaison, le débit journalier annuel moyen est de $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$ (2006–2010), avec le mois d'avril ayant le plus gros débit journalier moyen ($1,147 \text{ m}^3/\text{s}$, période 2006–2010) (MDDEP-CEHQ, 2011).

4.3 Zone visitées

Au total 12 zones d'érosion critiques ont été visitées, dont une près de Deschambault, une autre à St-Marc-des-Carières et les restes à St-Gilbert (Figure 14). Toutes ces zones sont des terres agricoles proches de la berge et avec des sols nus (ou avec peu de végétation), exceptées pour les zones 3, 4, 5 et 6, où de grandes parties des terres sont en pâturage.

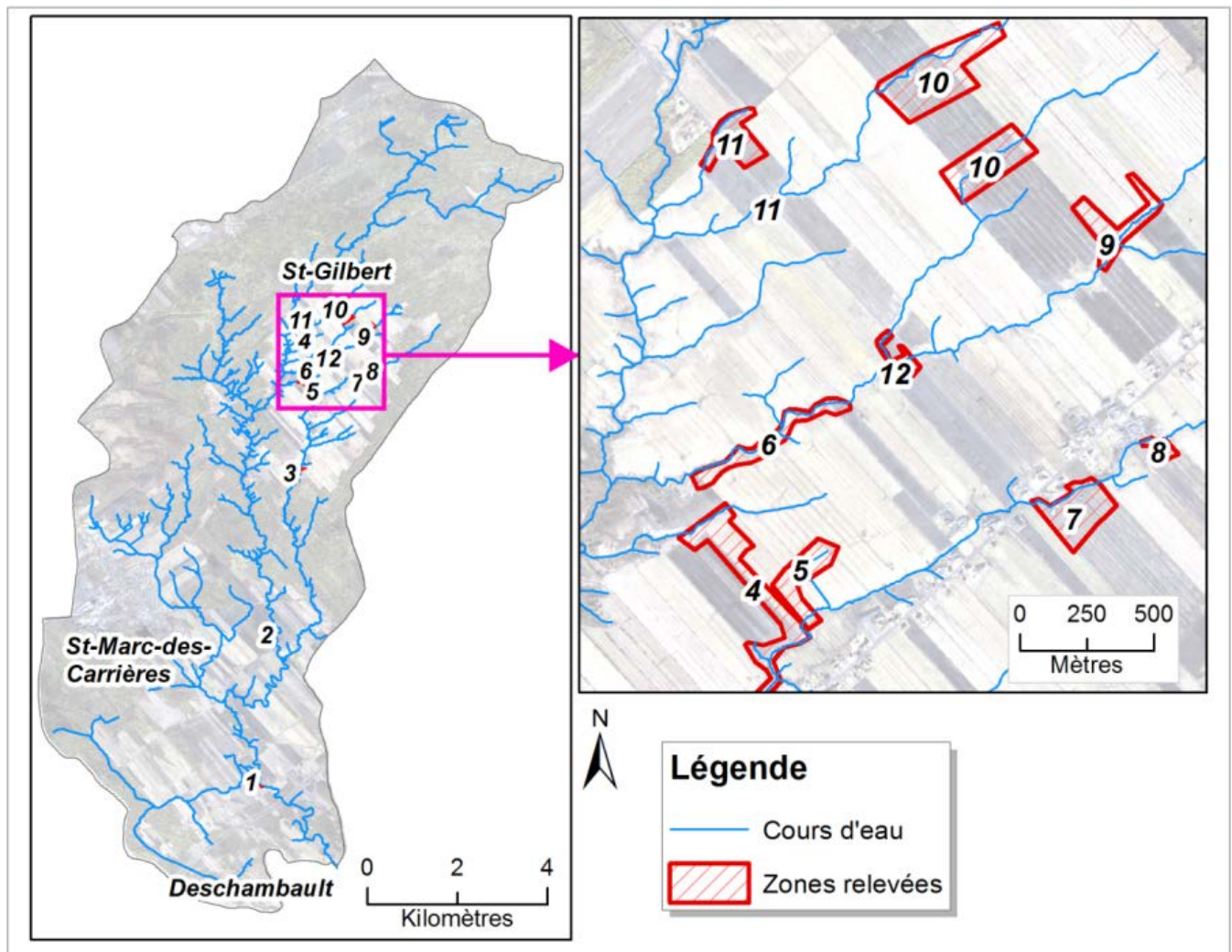


Figure 14. Les 12 zones d'érosion relevées.

La Tableau 2 ci-dessous donne une un résumé des caractéristiques de chaque zone visitée.

Tableau 2. Caractéristiques des zones visitées.

Zone		Pente %	Sol					
No.	Superficie (ha)		État / Travail	Utilisation	Texture	Drainage	Série	Ordre
1	4,7	2–8% & 8–13% (vers berge)	Nu - labouré	culture maïs	Lomeuse grossière	bien	Fa	Brunisols
					Sableuse	imparfait	J	Podzols
2	1,3	2–8% 6–10% (berge)	Nu - labouré	culture	Lomeuse grossière	bien	Ba	Brunisols
3	9	>8%	Pas labouré – encore	culture ou fourrage	Sableuse	imparfait	Ac	Podzols
4	6,7	2–8% sur le replat & >8% (vers la berge)	Nu - labouré	culture	Lomeuse grossière	imparfait	Ce	Gleysols
5	3,2		Pas travaillé	pâturage				
6	3,1		Travaillé Est, ouest	pâturage et sol nu	argileuse-très fine	bien	Ri-e	Gleysols
7	4,1		Pas labouré encore	culture ou fourrage	lomeuse-fine	bien	Pc	Brunisols
8	0,6							
9	3,3		Nu – labouré & herbes	culture & pâturage	argileuse-très fine	bien	Ri-e	Gleysols
10	13		Nu – labouré	culture	Lomeuse grossière	imparfait	Ce	Gleysols
11	2,6		Travaillé à l’ouest	culture	argileuse-très fine	bien	Ri-e	Gleysols
12	1,1		Nu - labouré	culture				

Série de sol : Fa, Farmington; Ba, Batiscan; Pc, Pontiac; Ce, Chaloupe; Ri-e, Rideau; J, Saint-Jude; Ac, Achigan.

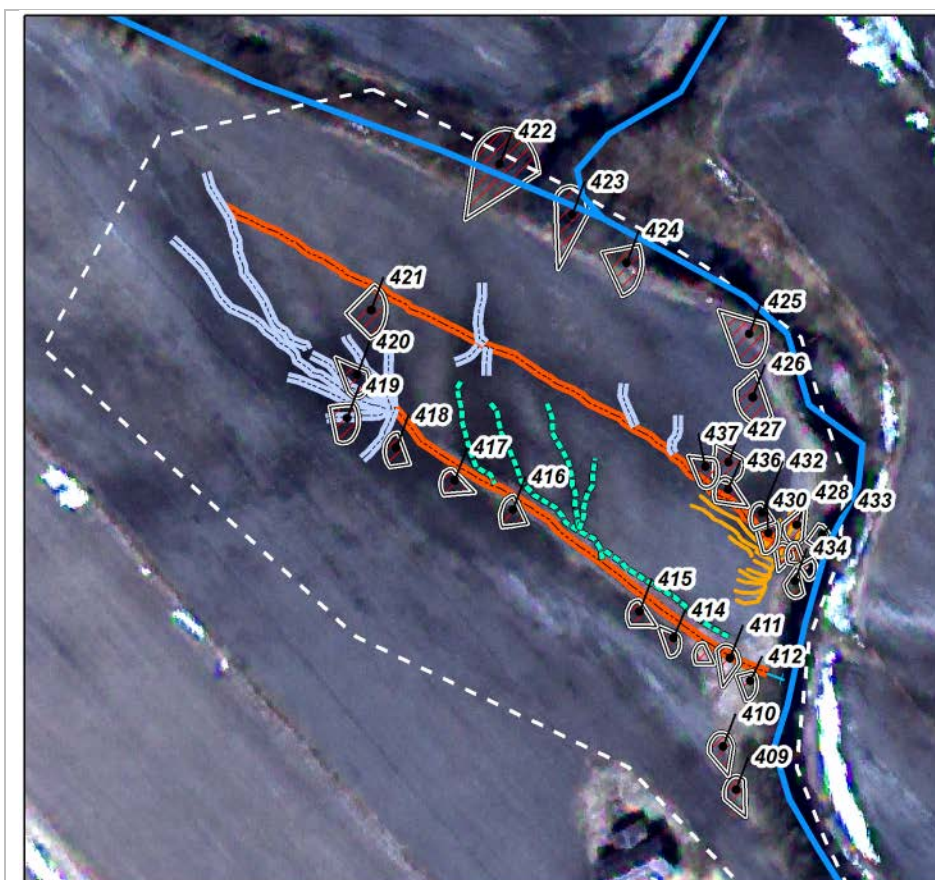
4.3.1 Zone 1

Cette zone située près de Deschambault est d'environ 4,7 hectares. La terre agricole, qui a un sol nu en avril, a une pente de 2–8% dans la partie la plus plate, et la pente est de 8–13% lorsqu'elle s'approche de la berge. L'année précédente, cette zone a été cultivée en maïs. La zone est composée de deux types de sol. Dans la partie Ouest, le sol a une granulométrie loameuse-grossière et se draine bien. Le nom du sol (séries de sols) est le Farmington terrain (Fa). C'est un sol d'origine minéral de l'ordre des Brunisols, dans le sous-groupe Brunisol mélanique orthique. Dans la partie Est, le sol a une granulométrie sableuse et est imparfaitement drainé. Le nom du sol (séries de sols) est Saint-Jude (J). C'est un sol d'origine minéral de l'ordre des Podzols, dans le sous-groupe Pozol humo-ferrique gleyifié (MAPAQ-IRDA, 2003; AAC, 2010).

Comme cette zone est caractérisée par du sol nu sur des terres en pente et proches de la berge, divers processus d'érosion sont en cours, notamment de l'érosion en nappe et du ravinement au champ. Concernant les marques d'érosion, deux d'entre elles étaient particulièrement visibles. La première marque, qui à la base est un fossé mal aménagé, est 213 m de long, 1–2 m de large et 1–2 m de profondeur. Elle a été catégorisée comme du ravinement connecté à la berge, ainsi que comme de l'érosion aux confluences à sa fin (photo # 420 et # 412 dans la Figure 15). En amont de cette marque, de l'érosion en nappe et du ravinement au champ (connecté à ce fossé) ont été observés.

L'autre importante marque d'érosion est 250 m de long et est connectée à la berge (catégorie, ravinement au champ connecté à la berge) (photo # 427). De l'érosion en nappe ainsi que du ravinement ont été observés en amont de cette marque. Plusieurs marques de ravinement au champ ont aussi été observées dans les pentes proches de la berge.

Il est à noter que la longueur des traces pour la catégorie 'Érosion en nappe' est seulement indicative de l'ampleur de ce type d'érosion observée sur le terrain. L'érosion en nappe est la seule des dix catégories relevées à ne pas se manifester par des traces linéaires. À cet effet, les sites touchés par l'érosion en nappe ont été identifiées non pas par des traces linéaires, mais plutôt par la déposition du matériel érodé dans les replats situés en aval, proche ou dans la bande riveraine.



Legend

Zone d'érosion

Direction de la prise du photo

(chiffre e.g 73 = # du photo)

Traces d'érosion - Catégorie d'érosion

1 - Érosion en nappe

2 - Ravinement au champ

3 - Érosion aux confluences

4 - Ravinement des berges

5 - Érosion due au mauvais drainage des dépressions

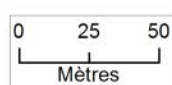
6 - Érosion due à la résurgence d'écoulement hypodermique ou de nappe phréatique

7 - Érosion en tunnel

8 - Érosion due aux mauvais drainages des puisards

9 - Ravinement au champ connecté aux berges

10 - Ravinement au champ connecté aux fossés



(photo # 420) – Ravinement au champ connecté aux berges



(photo # 412) – Érosion au confluence



(photo # 427) – Ravinement au champ connecté aux berges + érosion en nappe

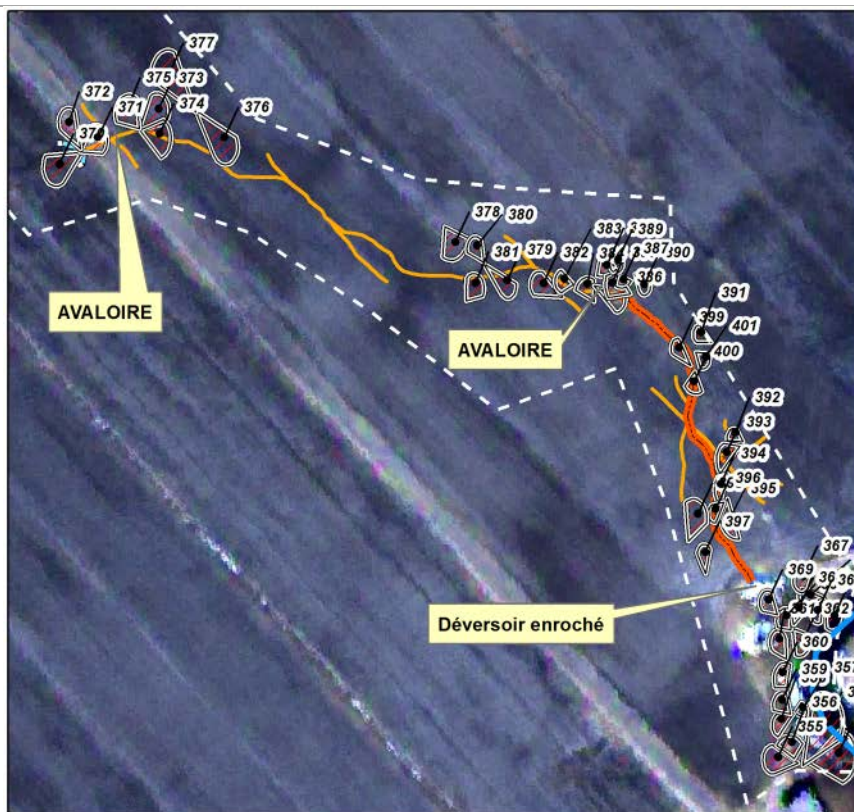
Figure 15. La zone 1

4.3.2 Zone 2

Cette zone près de St-Marc-des-carrières est d'environ 1,3 ha. Tout comme la zone 1, la terre agricole, qui a un sol nu en avril, a une pente de 2–8% dans la partie la plus plate. La pente augmente à 6–10% en s'approchant de la berge. Le sol a une granulométrie loameuse-grossière et se draine bien. Le nom du sol (séries de sols) est le Batiscan (Ba). C'est un sol d'origine minéral de l'ordre des Brunisols, dans le sous-groupe Brunisol sombre orthique (MAPAQ-IRDA, 2003; AAC, 2010).

Deux avaloirs ont été installés sur le site pour évacuer l'eau, réduire le ruissellement et l'érosion (Figure 16, photo # 371). Ces installations ont grandement réduit l'érosion sur le site. Les avaloirs avaient de l'enrochement en amont tout comme le déversoir. Un excès de ruissellement au dernier avaloir a causé un ravinement de 46 m de long et connecté à la berge (voir les photos # 396). Comme il y avait de l'enrochement au déversoir, ce ravinement connecté à la berge n'a pas causé de l'érosion aux confluences et a beaucoup réduit l'exportation de sédiments vers le cours d'eau. Auparavant, un tel système n'était pas installé sur le site, qui souffrait alors grandement de l'érosion (communication personnelle CAPSA). La profondeur du ravinement est de 5–55 cm avec une largeur de 45–130 cm. En amont du dernier avaloir, des traces de ravinement ont été observées avec des longueurs de 10 m, 20 m et 160 m, entres autres. La profondeur varie de 2–10 cm et la largeur de 5–30 cm.

Outre ces traces d'érosion, beaucoup d'autres marques ont été observées, notamment de l'érosion en nappe (sur sol nu sur pente 2–8%) et de la résurgence hypodermique qui a causé de l'érosion due au mauvais drainage des dépressions (en amont du premier avaloir, photo # 370). Aussi, le labourage du sol a causé la formation d'une multitude de fossés de profondeur 2–5 cm et largeur ~30 cm. En présence de ruissellements, ces fossés évacuent l'eau et agissent directement comme des ravineaux (photo # 380), accentuant ainsi le processus d'érosion.



(photo # 380) – Ravinement au champ



(photo # 370) – Érosion due aux mauvais drainages des dépressions



(photo # 371) – avaloir



(photo # 396, 1er) – Ravinement au champ connecté à la berge



(photo # 396, 2ième)

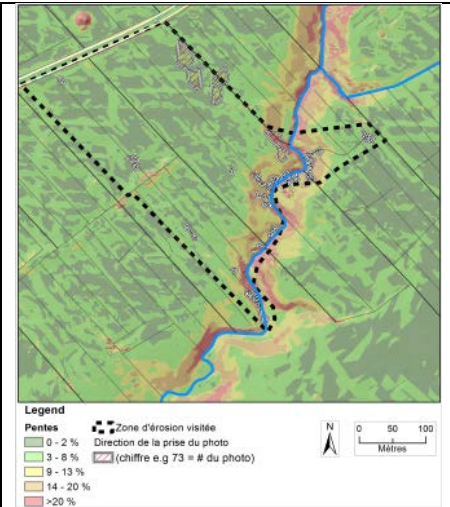
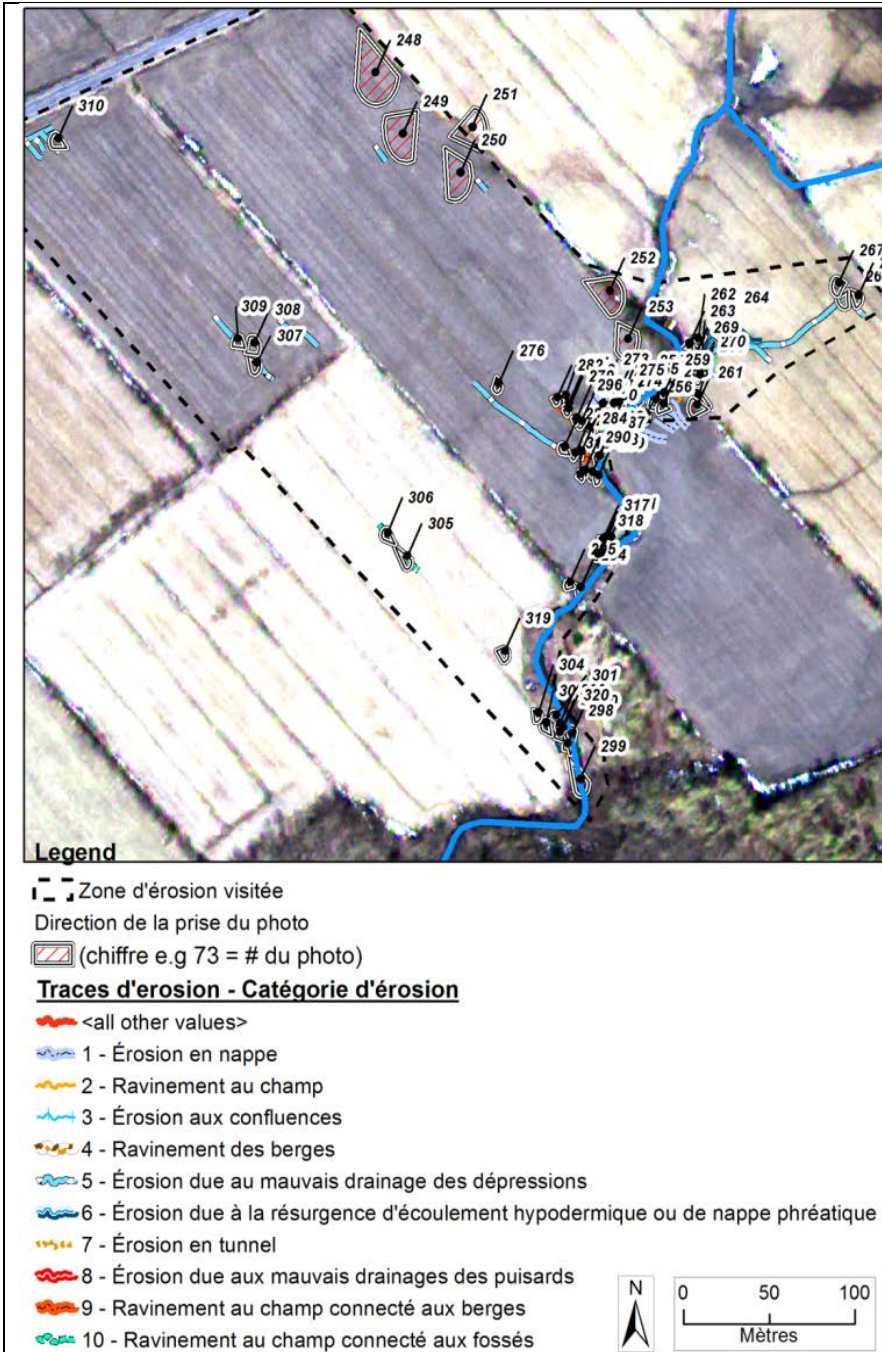
Figure 16. Zone 2

4.3.3 Zone 3

Cette zone de 9 ha est située à St-Gilbert. Une partie de la zone était couverte de peu de végétation lors du relevé suite aux exploitations de maïs de l'année précédente. Le sol était donc plus ou moins nu et pas encore labouré. L'autre partie était en pâturage. Une des caractéristiques de ce site est son très fort vallonnement près de la berge, typiquement >8% (Figure 17). Malgré ces pentes, cette partie du site est tout de même exploitée à des fins agricoles.

Le sol a une granulométrie sableuse et est imparfaitement drainé. Le nom du sol (séries de sols) est l'Achigan (Ac). C'est un sol d'origine minéral de l'ordre des Podzols, dans le sous-groupe Podzol humique orthique (MAPAQ-IRDA, 2003; AAC, 2010).

Dû à la présence de grandes pentes et l'absence de drainage souterrain en amont, plusieurs processus d'érosion sont observés, notamment, de l'érosion en tunnel (photo # 280, Figure 17) de l'érosion due aux mauvais drainages des dépressions, la résurgence de l'écoulement hypodermique et le décrochement de talus (photo # 275), ainsi que de l'érosion en nappe et du ravinement. Dans ce contexte, l'un des ravins observé (qui est à la base un fossé) prend sa source dans une zone d'érosion due aux mauvais drainages des dépressions (tout près de la photo # 276 dans la Figure 17). Sur la partie plate, lorsque le ravin est encore plus ou moins un fossé, ses largeurs sont 20–30 cm avec des profondeurs 15–25 cm. En aval, sur la pente et vers le talus, le ravin a des largeurs de 10–17 cm et des profondeurs de 5–12 cm.



(pentes du site)



(photo # 280) – Érosion en tunnel



(photo # 275) – Résurgence de l'écoulement hypodermique et décrochement de talus

Figure 17. La zone 3.

4.3.4 Zone 4

Cette zone située à St-Gilbert, à une superficie de 6,7 ha. Elle est située entre deux cours d'eau. Ainsi, le site possède une partie plate au centre et deux parties vallonnées près des berges (Figure 18, pente du site). Le sol a une granulométrie Loameuse-grossière et est imparfaitement drainé. Le nom du sol (séries de sols) est Chaloupe (Ce). C'est un sol d'origine minéral de l'ordre des Gleysols, dans le sous-groupe Gleysol humique orthique (MAPAQ-IRDA, 2003; AAC, 2010).

La partie du site se prolongeant au sud est en sol nu et a été labourée jusqu'aux berges (photo # 452, Figure 18). La partie se prolongeant vers le nord est aussi en sol nu et a été labourée. Cependant, le travail du sol ne se prolonge pas sur la partie en pente près des berges. Cela est un très bel exemple de conservation du sol et de l'eau. En effet, l'agriculteur a décidé de laisser cette partie en friche et en fourrage (dû à la trop grande érosion qui sévissait, communication personnelle de la CAPSA). La CAPSA a aussi collaboré à cet effet en plantant des arbustes et des fruitiers le long de la bande riveraine à cet endroit (photo # 461).

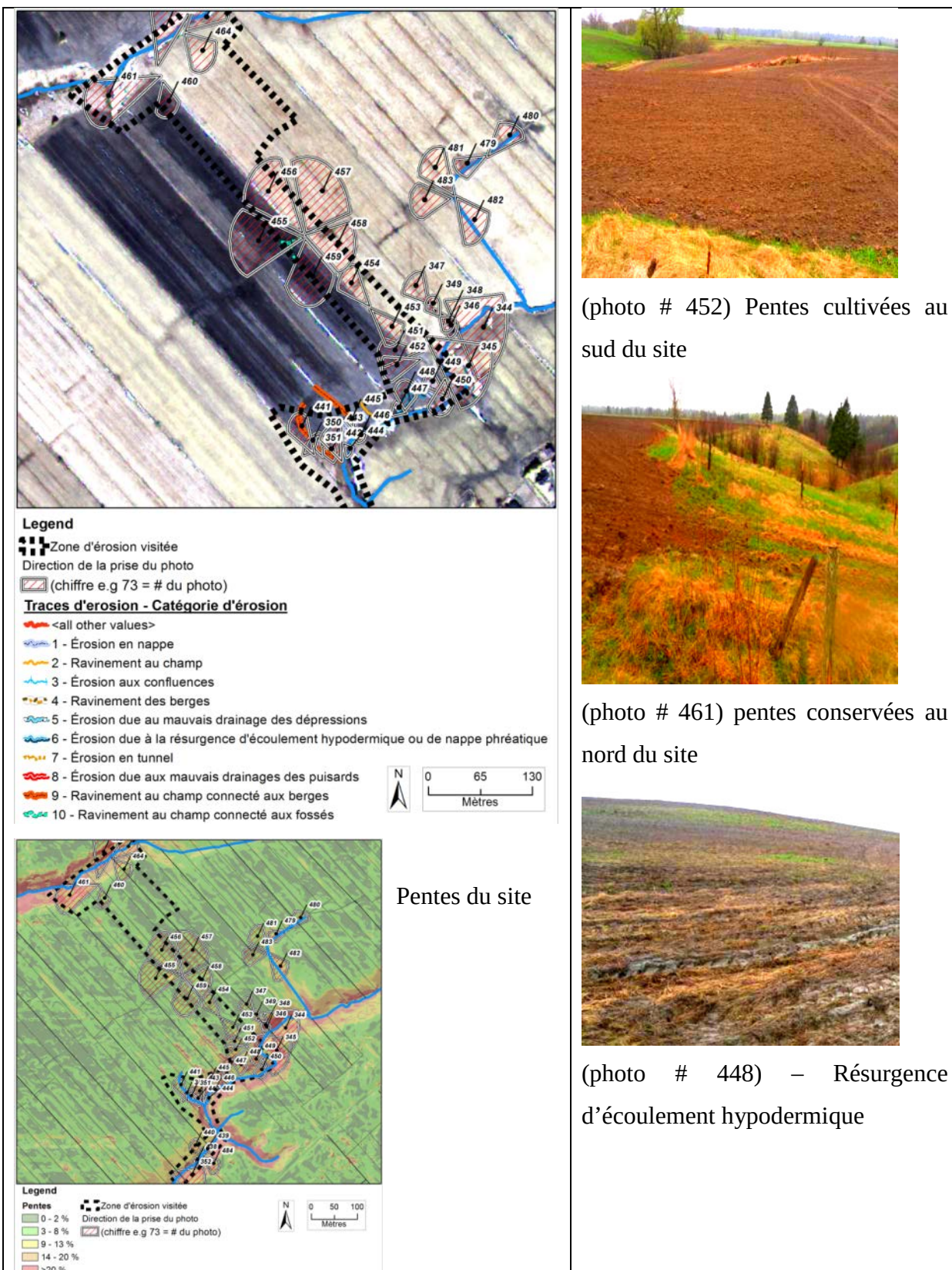


Figure 18. L a zone 4.

Les marques d'érosion observées dans cette zone sont pour beaucoup attribuables à la résurgence de l'écoulement hypodermique au bas de la pente (au sud du site). Cette partie, étant affectée par la résurgence d'eau, ressemble plus à une zone marécageuse plutôt qu'à une terre agricole (photo # 448). Sur de telles pentes avec sols nus, et à quelques mètres de la ligne des hautes eaux, il a énormément d'érosion en cours, notamment, de l'érosion en nappe, de l'érosion due au mauvais drainage des dépressions, de l'érosion aux confluences, et du ravinement connecté à la berge. Dans le milieu de la parcelle sur la partie plate, du ravinement connecté au fossé a été aussi observé (Figure 19).



Figure 19. Ravinement au champ connecté au fossé (photo # 455 de la Figure 18).

4.3.5 Zone 5

Cette zone est située à côté de la zone 4, et a une superficie de 3,2 ha. L'écoulement d'eau va en direction de la berge située au sud, sur des pentes > 8%. (Figure 20). Lors du relevé, le site était en pâturage et le demeurera pour encore quelques années (communication personnelle de la CAPSA). Deux types de sol existent sur le site. Le sol à l'ouest est le même que celui de la Zone 4 (page 37). Le sol à l'Est a une granulométrie argileuse-très fine et est imparfaitement drainé. Le nom du sol (séries de sols) est Sainte-Rosalie (R). C'est un sol d'origine minéral de l'ordre des Gleysols, dans le sous-groupe Gleysol humique orthique (MAPAQ-IRDA, 2003; AAC, 2010).

En amont du site, de petits fossés de drainage évacuent de l'eau et du sédiment qui découlent d'un processus d'érosion due aux mauvais drainages des dépressions (photo # 481 et # 346, Figure 20), ainsi que dû à la résurgence de l'écoulement hypodermique (photo # 483). En aval, ces fossés sont connectés au cours d'eau où des processus d'érosion aux confluences sont actifs (photo # 348). De grandes quantités de sols quittent ainsi ces terres agricoles en pâturage pour être déposées dans la rivière.

Selon la fiche technique de la MAPAQ (MAPAQ-AAC, 2007b), des systèmes d'avaloirs et de déversoir avec enrochement en amont (et si nécessaire des risbermes), devraient être installés sur de tels sites, vu la pente existante se prolongeant vers la berge (photo # 482). Des puits d'infiltration ou tranchée filtrante ainsi que des rigoles d'interception engazonnée seraient aussi d'autres solutions (MAPAQ-AAC, 2007a, b).

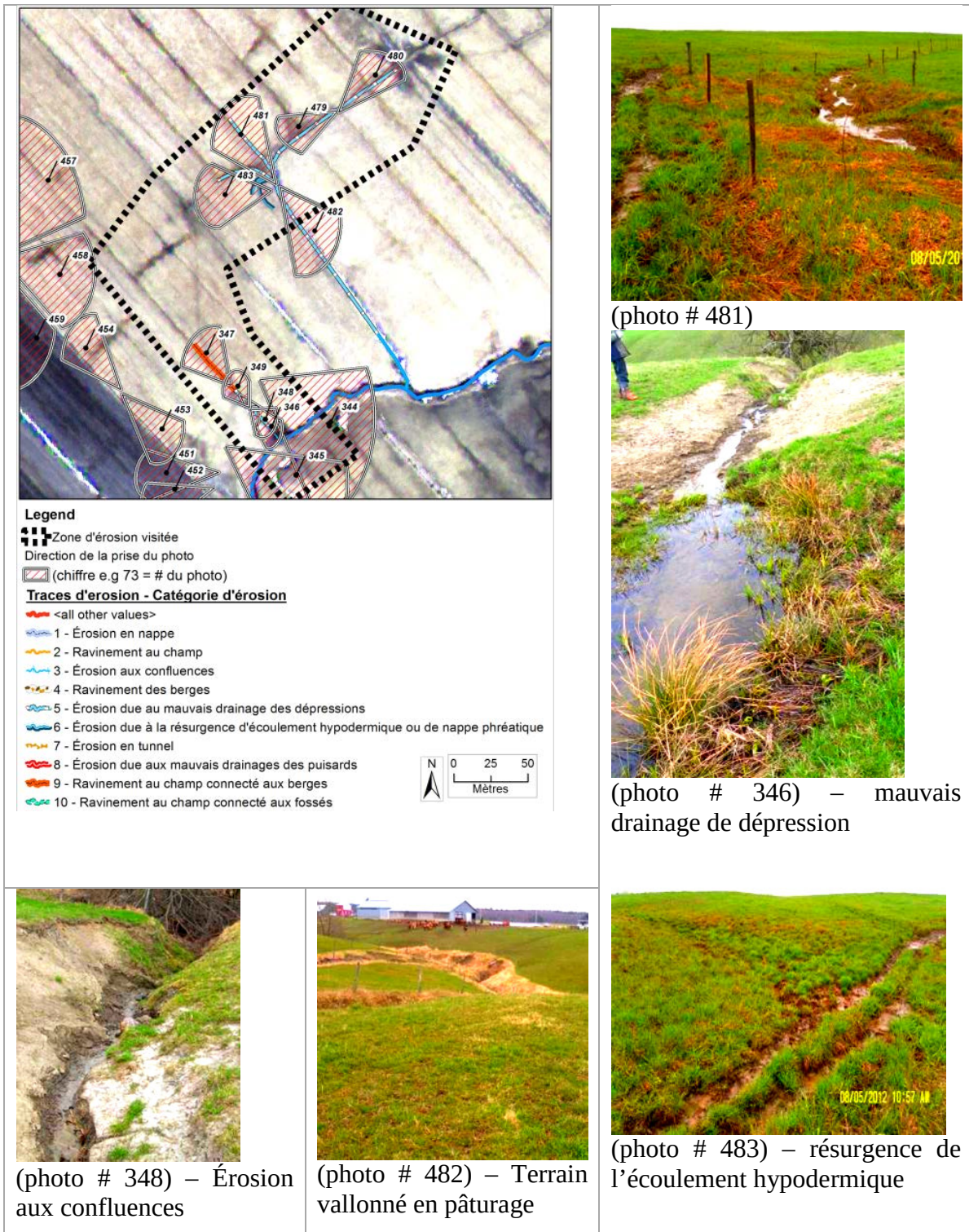


Figure 20. L a zone 5.

4.3.6 Zone 6

Cette zone a une superficie de 3,1 ha. L'écoulement d'eau va en direction de la berge située au nord, sur des pentes >8%. Tout comme la zone 5, cette zone était en pâturage lors du relevé et le demeurera pour encore quelques années (Figure 21) (sauf pour les deux extrémités Ouest et Est, qui ont des sols nus et qui sont travaillées).

Le sol du site a une granulométrie argileuse-très fine et est modérément bien drainé. Le nom du sol (séries de sols) est Rideau (Ri-e). C'est un sol d'origine minéral de l'ordre des Gleysols, dans le sous-groupe Gleysol orthique (MAPAQ-IRDA, 2003; AAC, 2010).

De la résurgence hypodermique a été aussi fréquemment observée dans le dénivellement vers le talus, due probablement au bon drainage souterrain du site et ses fortes pentes vers la berge (photos # 335 et 337). Autre point à noter, les chemins de terre qui traversent la rivière en ponceau sont affectés par du ravinement connecté à la berge (photo # 472). En effet, provenant des deux directions, des ravins de plus de 120 m de long ont été mesurés, avec des largeurs 10–46 cm et des profondeurs 4–28 cm. Comme ce processus d'érosion n'est pas explicitement sur la terre agricole elle-même, il ne formera pas partie des résultats finaux.

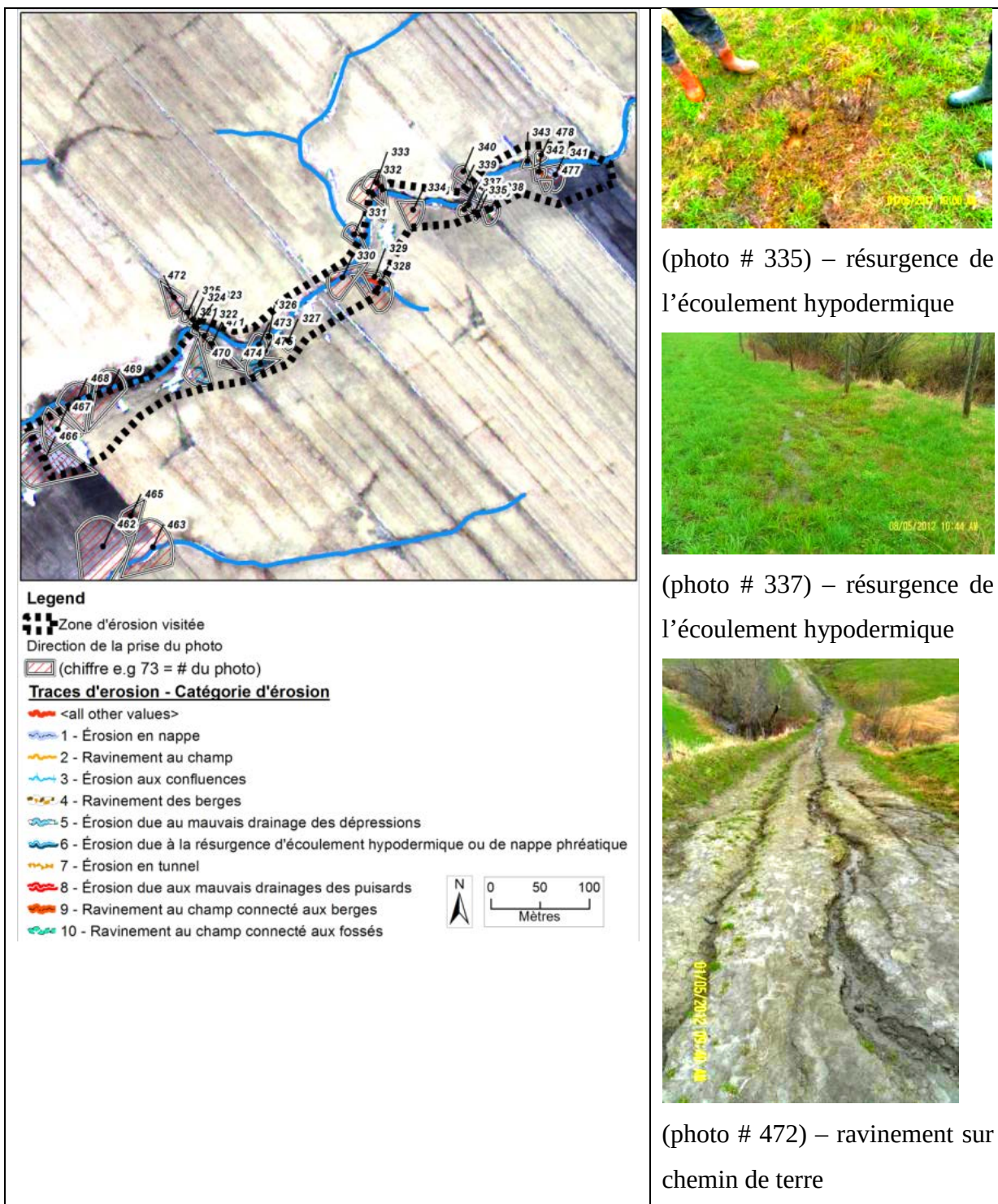


Figure 21. La zone 6.

Sur le sol nu à l'ouest du site, de l'érosion en nappe a été observée car le sol a été labouré très finement et la pente est $>10\%$ (Figure 22).



Figure 22. Érosion en nappe à l'extrême Ouest du site.

Pour la parcelle de terre avec sol nu située à l'est du site, une visite a été effectuée avec la CAPSA le 1^{er} mai. Il a été vu que le sol a été labouré grossièrement et du ravinement ainsi que l'érosion en tunnel ont été observés (Figure 23a et b).

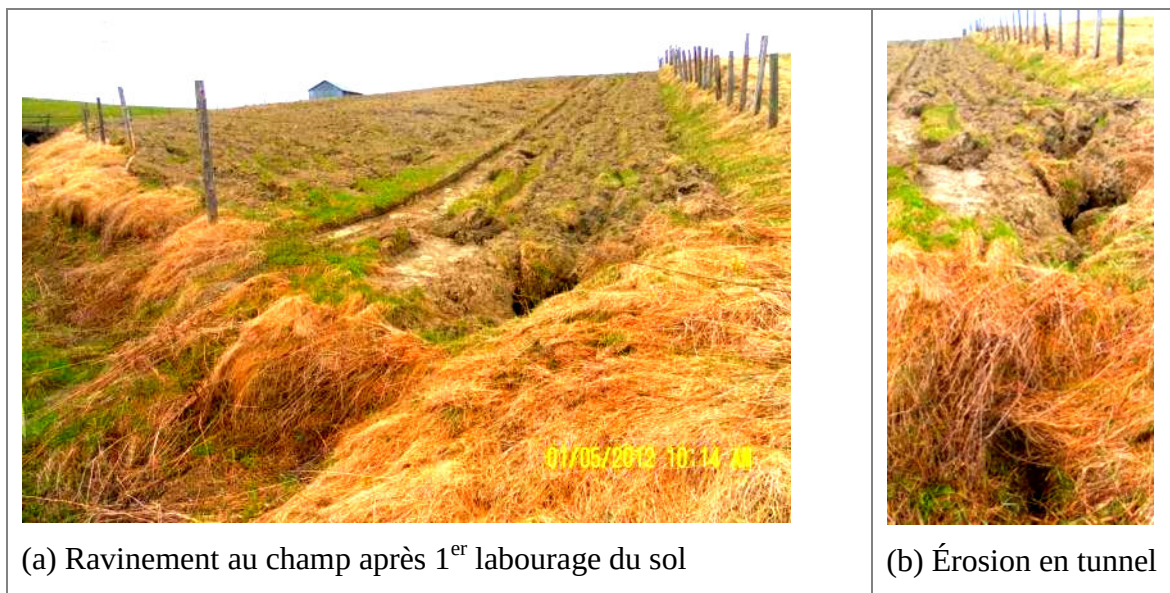


Figure 23. Sols nus à l'extrême est du site

Cependant, lors du relevé du 8 mai, des événements de pluie érosive ont eu lieu et le sol a aussi été entre-temps labouré finement, et les ravinelements ont été oblitérés. Le processus d'érosion observés à ce moment-là fut donc plus de l'érosion en nappe (Figure 24).



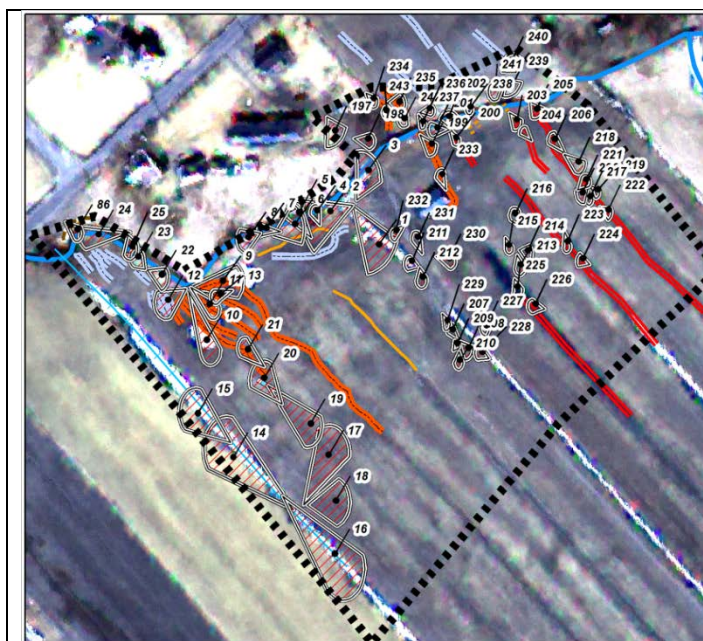
Figure 24. Érosion en nappe après 2ième labourage du sol et évènement de pluie érosive.

4.3.7 Zone 7

Cette zone a une superficie de 4,1 ha. L'écoulement d'eau va en direction de la berge située au nord, sur des pentes $>8\%$. La zone était couverte de peu de végétation lors du relevé suite aux exploitations agricoles de l'année précédente. Le sol était donc plus ou moins nu et pas encore labouré (Figure 25).

Le sol du site a une granulométrie limoneuse-fine et est bien drainé. Le nom du sol (séries de sols) est Pontiac (Pc). C'est un sol d'origine minéral de l'ordre des Brunisols, dans le sous-groupe Brunisol dystrique orthique (MAPAQ-IRDA, 2003; AAC, 2010).

Confinée entre les ravineaux, de l'érosion en nappe a été observée (photo # 86, Figure 25). Du ravinement a été observé aussi, comme par exemple, du ravinement au champ connecté à la berge (photos # 206 et 234). Les ravineaux avaient des longueurs de 20–120 m, des largeurs de 15–55 cm, et des profondeurs de 5–35 cm.



Legend

Zone d'érosion visitée

Direction de la prise du photo

(chiffre e.g 73 = # du photo)

Traces d'érosion - Catégorie d'érosion

<all other values>

1 - Érosion en nappe

2 - Ravinement au champ

3 - Érosion aux confluences

4 - Ravinement des berges

5 - Érosion due au mauvais drainage des dépressions

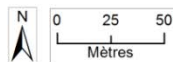
6 - Érosion due à la résurgence d'écoulement hypodermique ou de nappe phréatique

7 - Érosion en tunnel

8 - Érosion due aux mauvais drainages des puitsards

9 - Ravinement au champ connecté aux berges

10 - Ravinement au champ connecté aux fossés



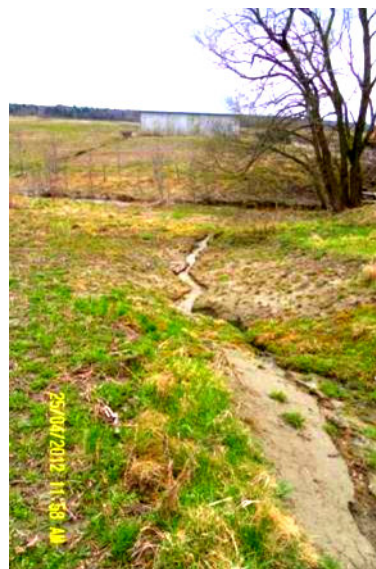
(photo # 10, 1ère) – ravinement connecté à la berge



(photo # 86) – Érosion en nappe



(photo # 206) – ravinement connecté à la berge



(photo # 234) – ravinement connecté à la berge

Figure 25. La zone 7.

La zone 7 est l'un des sites où le plus grand nombre de marque d'érosion a été observé, et répartie dans presque toutes les catégories, y compris de l'érosion en tunnel, de l'érosion aux confluences, de l'érosion due aux mauvais drainages des puisards, de l'érosion des berges (Figure 26), et de l'érosion due au mauvais drainage des dépressions (Figure 27).



Figure 26. Ravinement des berges.



Figure 27. Érosion due au mauvais drainage des dépressions.

4.3.8 Zone 8

Cette zone se trouve en amont du cours d'eau traversant la zone 7. Elle a une superficie de 0,6 ha. À partir de la partie plate jusqu'à la berge, les pentes sont de 2–20%. Le sol n'était pas encore labouré au moment du relevé et avait peu de végétation (Figure 28). Le sol est le même que celui de la zone 7.

Les processus d'érosion observés sur le site sont: de l'érosion en tunnel (photo # 31), de l'érosion en nappe (photo # 27), et du ravinement connecté à la berge (photos # 38, 27 et 42). Les ravineaux avaient des longueurs de 70–110 m, des largeurs 15–120 cm, et des profondeurs 5–100 cm.

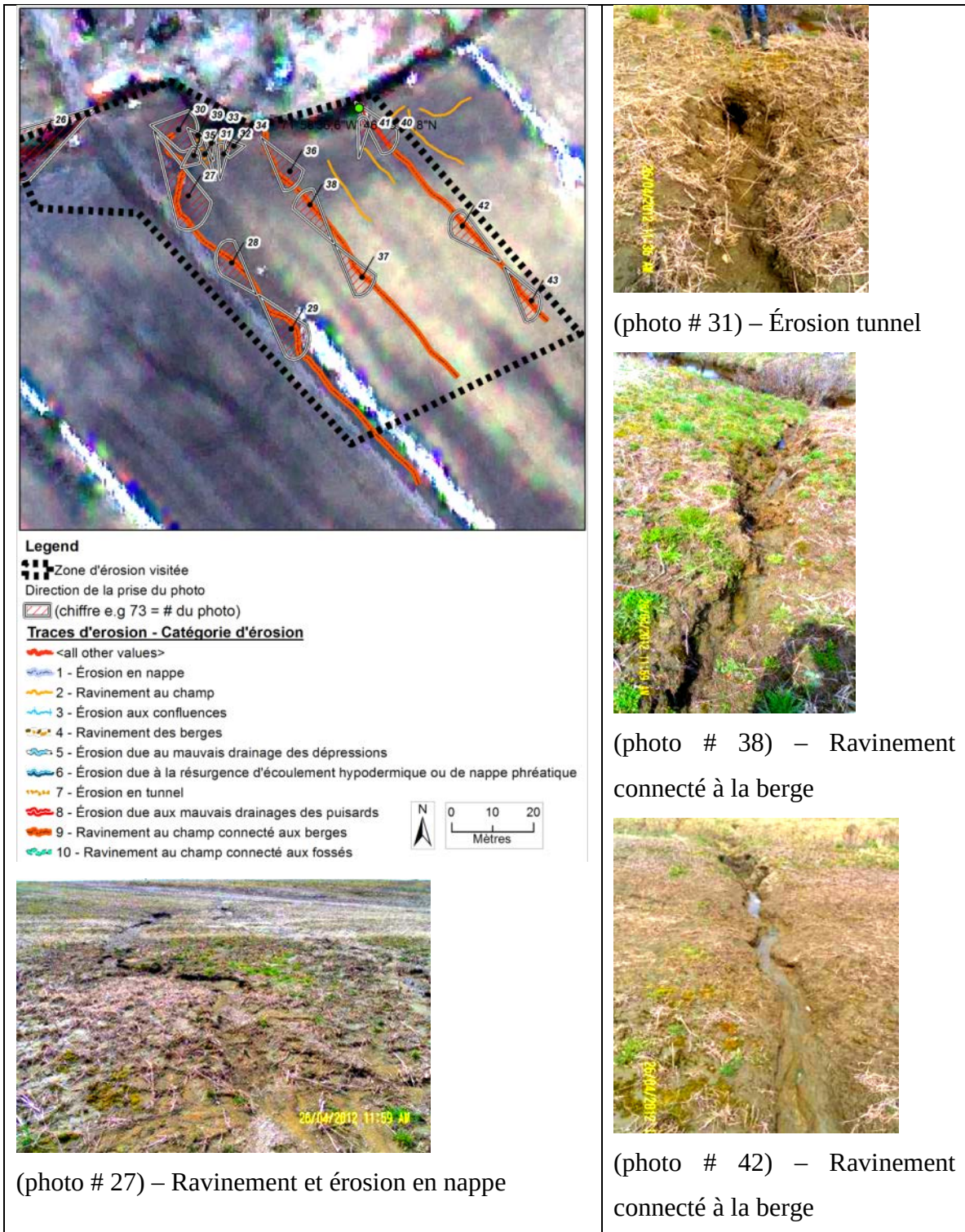


Figure 28. La zone 8.

De grosses marques d'érosion aux confluences ont aussi été observées dans la zone 8 (Figure 29).



Figure 29. Érosion aux confluences.

De grosses marques d'érosion en tunnel ont aussi été observées (Figure 30). Les tunnels avaient des diamètres de 30–70 cm et des profondeurs de 20–60 cm.



Figure 30. Érosion en tunnel.

4.3.9 Zone 9

Cette zone a une superficie de 3,3 ha. L'écoulement d'eau va en direction de la berge située au nord, sur des pentes > 8%. Une partie de cette zone était en pâturage lors du relevé, alors que l'autre partie avait du sol nu et où les marques d'érosion ont été relevées (photos # 114 et 104, Figure 31). Le sol du site est le même que celui de la zone 6.

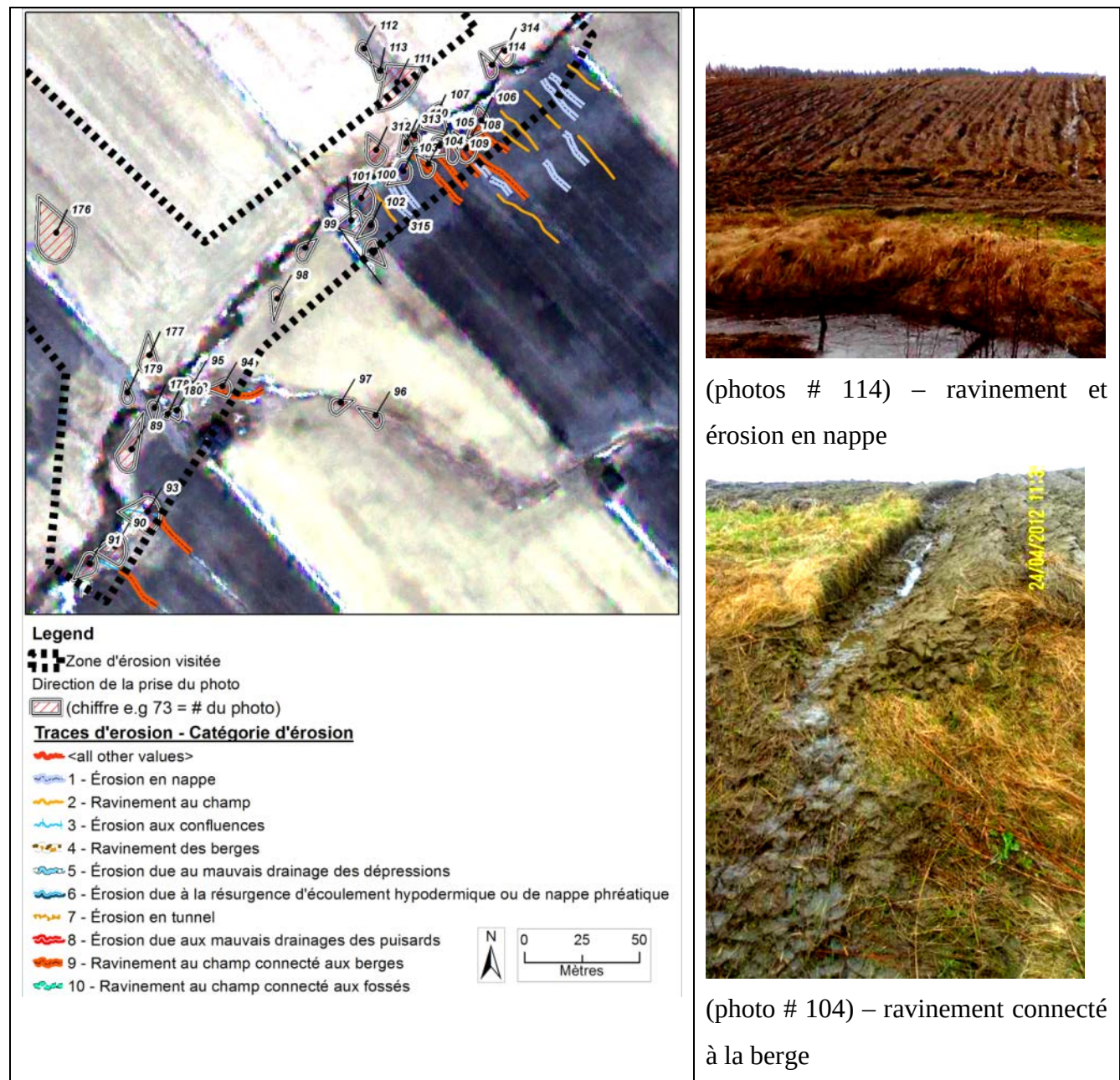


Figure 31. La zone 9

4.3.10 Zone 10

Cette zone est similaire à la zone 4. Elle a plusieurs planches agricoles avec sol nu qui s'étend du nord au sud entre deux cours d'eau. Sa superficie est de 13 ha. La partie plat au milieu a des pentes <6% alors que les pentes près des berges sont >8%. Lors du relevé, le sol avait déjà été labouré (Figure 32). Le sol du site a une granulométrie lomeuse-grossière et est imparfaitement drainé. Le nom du sol (séries de sols) est Chaloupe (Ce). C'est un sol d'origine minéral de l'ordre des Gleysols, dans le sous-groupe Gleysol humique orthique (MAPAQ-IRDA, 2003; AAC, 2010).

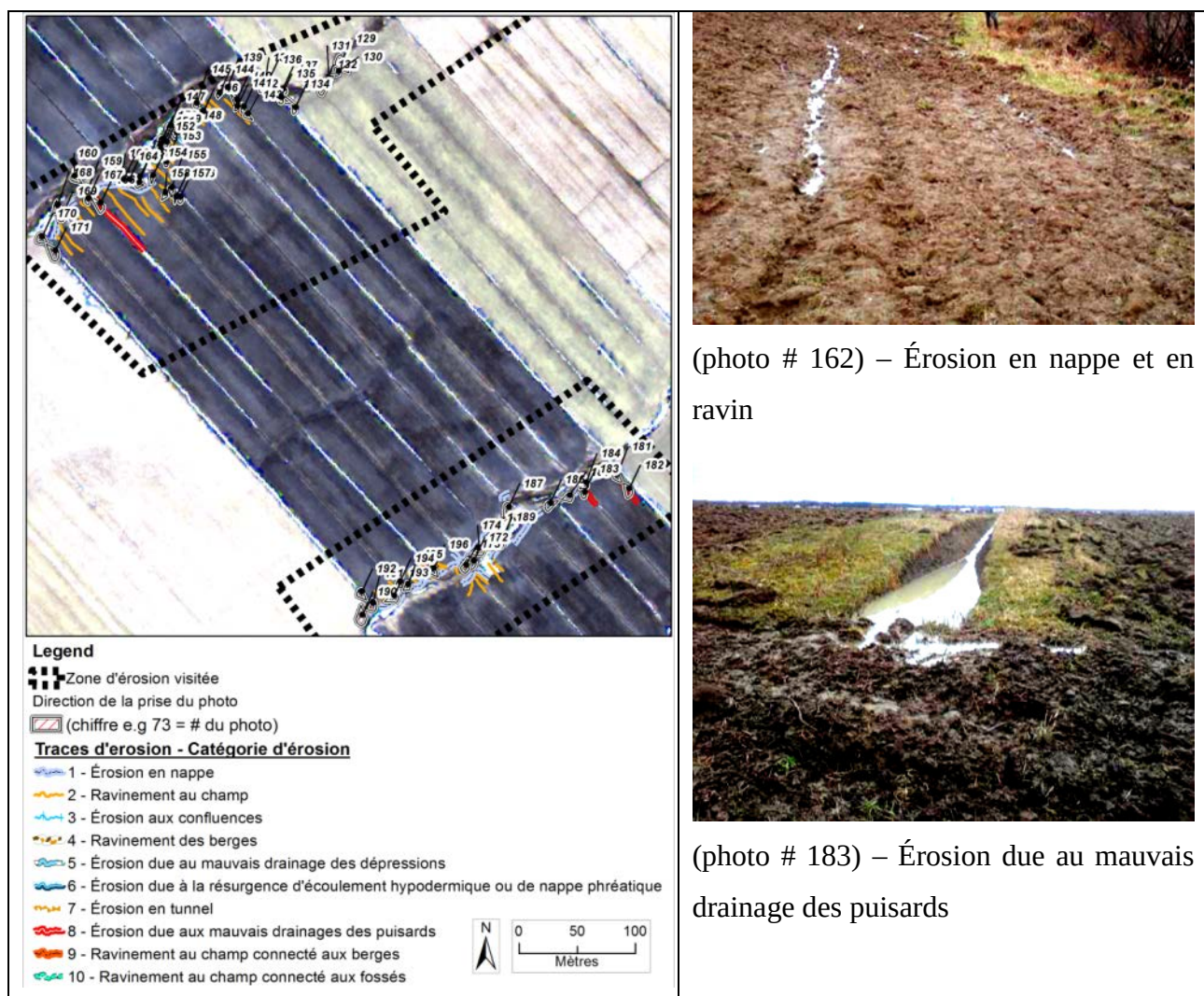


Figure 32. La zone 10.

Les processus d'érosion observés sont : l'érosion en nappe et en ravin (photo # 162), l'érosion aux confluences, et l'érosion due au mauvais drainage de puisard (photo # 183). Concernant ce dernier,

plusieurs fossés raccordés à un tuyau souterrain (dans un système qui semble utiliser un puisard) ont été observés (Figure 33a). Dans pas moins de quatre de ces installations, le système n'a pas fonctionné. Il semble que les débits d'eau provenant des fossés ont excédé la capacité du puisard et/ou du tuyau à évacuer l'eau et les sédiments. Le résultat est un débordement d'eau qui a frayé son chemin en surface vers le cours d'eau causant ainsi de l'érosion en ravin (Figure 33b).

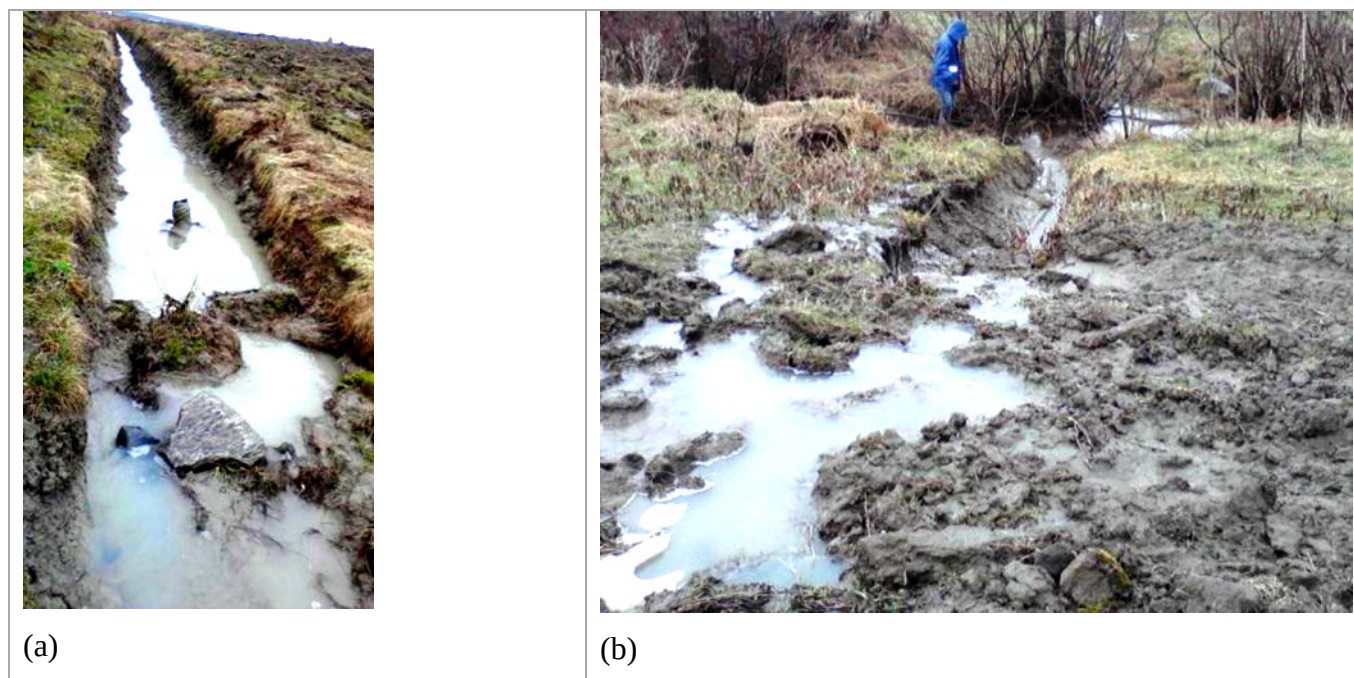


Figure 33. Érosion due au mauvais drainage de puisard.

4.3.11 Zone 11

Cette zone de 2,6 ha à St-Gilbert fut la première relevée, et a été introduite dans les sections 'Localisation des traces' (page 16) et 'La micro-topographie et le paysage immédiats' (page 18). La direction de l'écoulement d'eau est vers la berge au nord du site. Une partie du site à l'Ouest avait du sol nu. L'autre partie à l'Est avait peu de végétation (Figure 34), et c'est là que le plus d'érosion a été observée. La pente sur la partie plate est $<2\%$, alors que vers la berge la pente dépasse les 8% . Tout comme pour les zones 6 et 9, le sol a une granulométrie argileuse-très fine et est modérément bien drainé. Le nom du sol (séries de sols) est Rideau (Ri-e). C'est un sol d'origine minéral de l'ordre des Gleysols, dans le sous-groupe Gleysol orthique (MAPAQ-IRDA, 2003; AAC, 2010).

De l'érosion due au mauvais drainage des dépressions a été observée sur ce site (photo # 169). Cela a généré un ravinement de 161 m de long, et connecté à la berge (photos # 311), ainsi que de l'érosion en nappe (photo # 68).

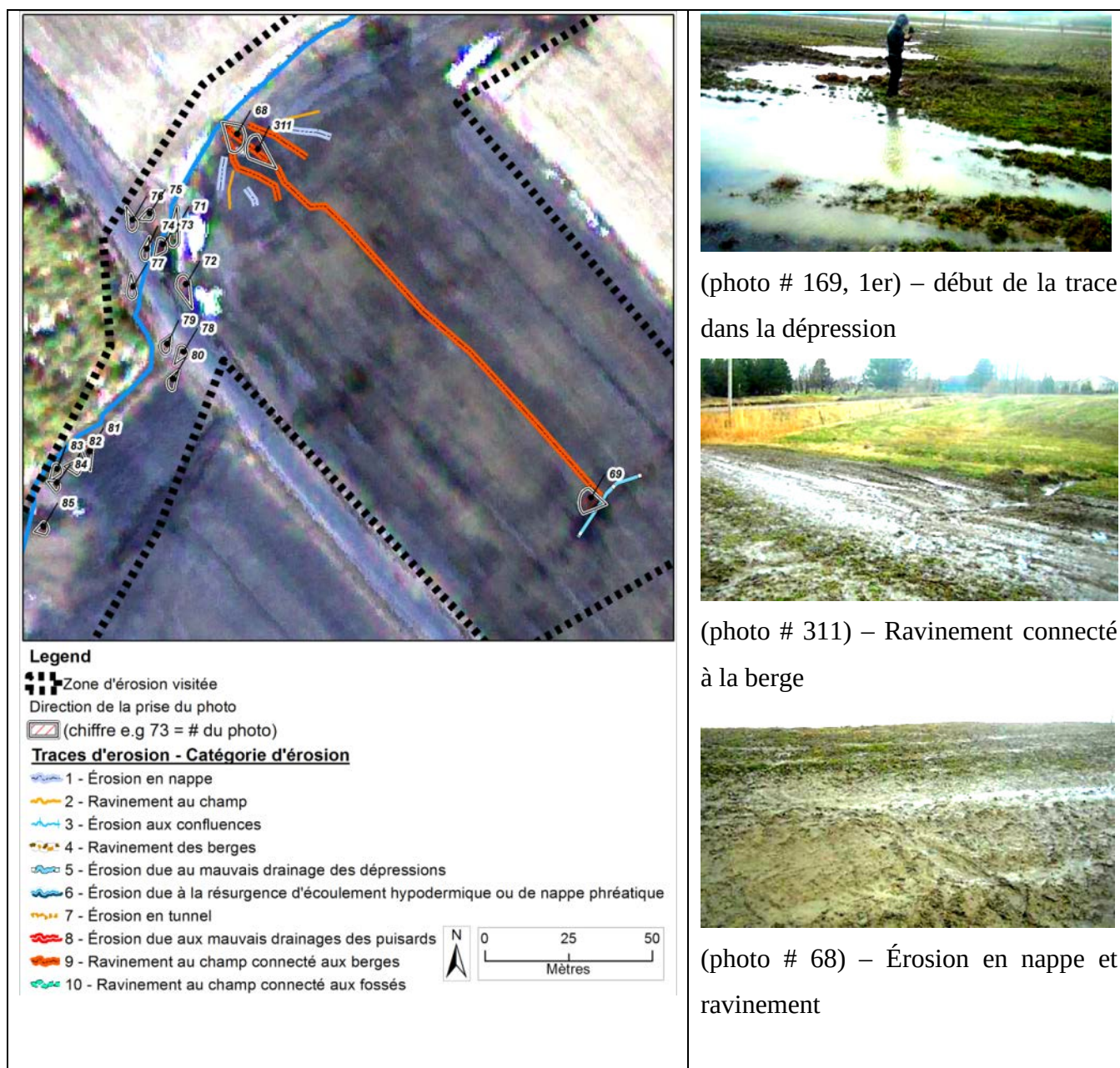


Figure 34. La zone 11.

4.3.12 Zone 12

Cette zone de 1,1 ha à St-Gilbert est celle où les plus grosses marques de ravinement au champ connecté aux berges ont été observées (Figure 35).



Figure 35. Ravinement au champ connecté à la berge

La zone comporte une partie plate se drainant vers la berge au nord sur des pentes $>13\%$ sur une étendue de plus de 40 m. Le sol était nu et finement labouré au moment du relevé (Figure 36), expliquant la grande quantité d'érosion en nappe et en ravin observée le 24 avril (après la série de pluie érosive du 20 au 23 avril). Cette zone a servi d'exemple pour la description de la méthodologie du relevé des traces (page 17). Tout comme pour les zones 6, 9 et 11, le sol a une granulométrie argileuse-très fine et est modérément bien drainé. Le nom du sol (séries de sols) est Rideau (Ri-e). C'est un sol d'origine minéral de l'ordre des Gleysols, dans le sous-groupe Gleysol orthique (MAPAQ-IRDA, 2003; AAC, 2010).

Les ravins avaient des longueurs de 35–52 m, des largeurs de 10–105 cm et des profondeurs de 3–17 cm (photos # 52 et 45). Les ravins étaient connectés à la berge (photo # 47), incluant même en tunnel pour un des ravins. Du ravinement au champ pur ainsi que le l'érosion en nappe ont aussi été observés (photo # 53).

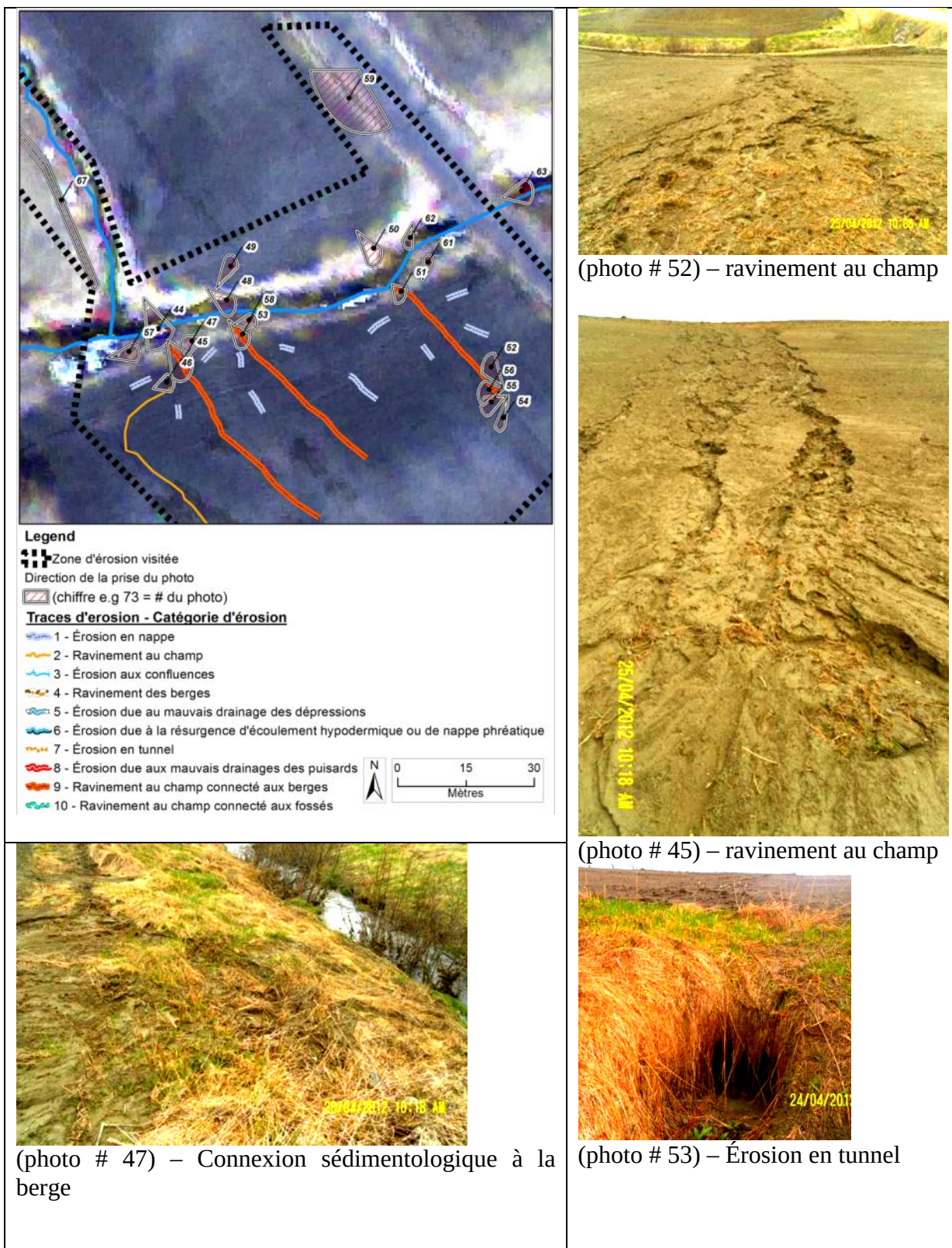


Figure 36. La zone 12.

4.4 Catégories des traces relevées

La Tableau 3 donne le nombre et la longueur totale des différents types d'érosion relevés. Il est à noter que la longueur des traces pour la catégorie 'Érosion en nappe' est seulement indicative de l'ampleur de ce type d'érosion observée sur le terrain. L'érosion en nappe est la seule des dix catégories relevées à ne pas se manifester par des traces linéaires. À cet effet, les sites touchés par l'érosion en nappe ont été identifiées non pas par des traces linéaires, mais plutôt par la déposition du matériel érodé dans les replats situés en aval, proche ou dans la bande riveraine. La Figure 37 illustre les différentes catégories d'érosion relevées.

Tableau 3. L'ordre d'importance de longueur de trace relevée dans chaque catégorie.

Position	Érosion			Total
	Catégorie	ID	S* *	
1 ^{er}	Ravinement connecté aux berges	9	<i>n</i>	38
			m	1983
2 ^{ième}	Érosion en nappe	1	<i>n</i>	99
			m	1832
3 ^{ième}	Ravinement au champ	2	<i>n</i>	83
			m	1566
4 ^{ième}	Mauvais drainage des dépressions	5	<i>n</i>	23
			m	788
5 ^{ième}	Résurgence écoulement hypodermique	6	<i>n</i>	26
			m	508
6 ^{ième}	Mauvais drainages des puisards	8	<i>n</i>	10
			m	488
7 ^{ième}	Érosion aux confluences	3	<i>n</i>	16
			m	454
8 ^{ième}	Ravinement connecté aux fossés	10	<i>n</i>	10
			m	359
9 ^{ième}	Ravinement des berges	4	<i>n</i>	7
			m	127
10 ^{ième}	Érosion en tunnel	7	<i>n</i>	16
			m	101
Total			<i>n</i>	328
			m	8206

Note : *, S = Statistique. *n* = nombre. m = longueur totale des traces, en mètre

	
Ravinement connecté à la berge	Mauvais drainages des puisards
	
Érosion en nappe	Érosion aux confluences
	
Ravinement connecté aux fossés	Ravinement au champ
	
Mauvais drainage des dépressions	Érosion en tunnel
	
Ravinement des berges	Résurgence hypodermique

Figure 37. Les différentes catégories d'érosion observées.

Le nombre total de traces relevées est 328, avec une longueur totale de 8206 m, incluant les longueurs des érosions en nappe observées. Ces dernières, à titre indicatif, ont une longueur totale de 1832 m, avec 99 'endroits' d'érosion en nappe observée. L'érosion en nappe, ensemble avec du ravinement connecté à la berge ont été les plus observées sur le terrain (Tableau 3). Du ravinement au champ connecté à la berge compte pour 38 traces et 1983 m, ce qui est 24% de toutes les traces observées. En excluant les longueurs de l'érosion en nappe, ce chiffre augmente à 31%.

Du ravinement au champ pur compte aussi pour un bon pourcentage des traces relevées (3^{ième} position), avec 83 traces et longueur 1566 m. Les autres catégories suivent dans l'ordre indiqué à la Tableau 3. La corrélation entre le nombre de traces d'érosion et la longueur totale est de $R^2 = 0,0387$, ce qui signifie que les deux ne sont pas liés.

On peut voir dans la Tableau 3 que de l'érosion due au mauvais drainage des dépressions a été aussi beaucoup observée, avec des longueurs de trace totalisant 788 m pour 23 observations. L'érosion due à la résurgence hypodermique est aussi très présente avec 26 observations et 508 m de longueur totale. Un résultat similaire est obtenu pour l'érosion due au mauvais drainage des puisards (10 observations et 488 m de long total). Pour l'érosion aux confluences, c'est 16 observations et 454 m total. Pour le ravinement connecté aux fossés, c'est 10 observations également et 359 m relevés. Pour le ravinement des berges c'est 7 observations pour 127 m de longueur totale. Et finalement, pour l'érosion en tunnel, c'est 16 observations et 101 m total.

4.4.1 Catégorie d'érosion et zone visitée

Concernant les zones relevées, la Tableau 4 donne le nombre des différents types d'érosion relevé dans chaque zone visitée. La table inclut aussi la longueur totale de chaque catégorie d'érosion relevée dans chaque zone.

Tableau 4. Statistique des catégories et zones relevées

Érosion			Zone												Total
ID	Catégorie	S *	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Érosion en nappe	n	13	6	8	7		8	14	3	8	16	4	12	99
		m	427	64	84	91		226	268	24	129	437	29	53	1832
2	Ravinement au champ	n	16	15	1	1			3	5	7	32	2	1	83
		m	209	351	8	42			91	73	156	561	22	53	1566
3	Érosion aux confluences	n	1		3	2	2		1	1	2	4			16
		m	7		47	26	56		202	13	24	79			454
4	Ravinement des berges	n			6				1						7
		m			110				17						127
5	Mauvais drainage des dépressions	n		3	13	1	4		1				1		23
		m		18	350	9	368		15				28		788
6	Résurgence écoulement hypoderm	n			5	6	2	13							26
		m			107	150	43	208							508
7	Érosion en tunnel	n			6			1	4	3				2	16
		m			46			6	28	16				5	101
8	Mauvais drainages des puisards	n							6			4			10
		m							355			133			488
9	Ravinement connecté aux berges	n	4	1	2	2	1	2	9	3	8		3	3	38
		m	412	92	57	163	42	19	379	251	229		210	129	1983
10	Ravinement connecté aux fossés	n	5		1	4									10
		m	245		35	79									359
Total		n	39	25	45	23	9	24	39	15	25	56	10	18	328
		m	1300	525	844	560	509	459	1355	377	538	1210	289	240	8206

Note : *, S = Statistique. n = nombre. m = longueur totale des traces, en mètre

La catégorie 'érosion en nappe' est présente dans toutes les zones, sauf la zone 5, où le site est en pâturage. La catégorie 'ravinement au champ connecté à la berge' est présente partout, sauf pour la zone 10. Dans cette dernière zone, le sol a été finement labouré et tous les fossés d'évacuation d'eau sont connectés à la berge avec un système de puisard et tuyau souterrain. Dans cette zone, en pas moins de quatre occasions, ce système n'a pas fonctionné et a causé de l'érosion (voir la rangée 8, Tableau 4). Du ravinement au champ est aussi très répandu dans toutes les zones, sauf les zones 5 et 6 où il y a plutôt du ravinement au champ connecté à la berge, ainsi que du pâturage.

La zone ayant le plus de traces (en termes de longueur) est la zone 7, avec 39 marques pour 1355 m total. C'est aussi l'une des zones où la plus grande variété de traces d'érosion a été observée (8 catégories). La zone 1 arrive en 2^{ième} position avec 1300 m de marques d'érosion observées, qui proviennent surtout de l'érosion en nappe (dont les longueurs sont plutôt à titre indicatif). Cependant, dans cette zone, de longues marques de ravinement au champ pur (209 m), ou connecté à la berge (412 m) et aux fossés (245 m) ont été aussi observées.

En analysant la Tableau 4, on ne voit pas de lien direct entre les zones et les catégories d'érosion, car chaque zone a une particularité qui n'est pas forcément présente dans une autre zone. Les variabilités entre les zones sont dues aux pentes, aux travaux du sol, et l'utilisation, la couverture et le type de sol. Toute cette variabilité empêche donc une analyse directe entre les zones. Par contre, des analyses de catégorie d'érosion par rapport aux pentes ou par rapport aux types de sol peuvent être faites.

4.4.2 Catégorie d'érosion et pente du terrain

Du point de vue de l'érosion, les pentes de 0–2% ont très peu d'érosion très facilement contrôlable. Les pentes 2–8% ont peu d'érosion facilement contrôlable en faisant l'usage approprié de certaines cultures. Les pentes 8–13% ont de l'érosion modérée moins facilement contrôlable et plus coûteuse. Les pentes 13–20% sont très affectées par de l'érosion et requièrent de vastes techniques très coûteuses pour la contrôler. Les pentes 20–30% sont extrêmement affectées par de l'érosion presque impossible à contrôler financièrement. Les pentes >30% sont extrêmement affectées par de l'érosion qui est impossible à contrôler, que ce soit techniquement ou financièrement (Morgan 2005).

Pour le bassin versant La Chevrotière, les pentes (en %) ont été obtenues du modèle numérique de terrain du site (à 1 m) produit par stéréoscopie de l'imagerie satellitaire d'avril 2012 caractérisant le sol nu. La Tableau 5 donne la statistique des pentes pour les différentes catégories d'érosion.

Tableau 5. Statistique des pentes pour les différentes catégories d'érosion.

Érosion		Pente moyenne en %			
ID	Catégorie	Moyenne	Écart-type	Min	Max
4	Ravinement des berges	30	8	20	45
7	Érosion en tunnel	21	6	9	34
6	Résurgence d'écoulement hypodermique	17	7	6	36
3	Érosion aux confluences	15	5	8	24
1	Érosion en nappe	12	6	1	24
9	Ravinement connecté aux berges	11	4	2	18
2	Ravinement au champ	8	5	1	32
8	Mauvais drainages des puisards	7	4	4	16
5	Mauvais drainage des dépressions	5	4	1	23
10	Ravinement connecté aux fossés	4	2	2	10

La catégorie 'ravinement des berges' arrive en tête avec une pente moyenne de 30% (n = 7, écart-type 8%, minimum 20% et maximum 45%). En 2^{ème} position se trouve l'érosion en tunnel qui commence dans des pentes de 9% pour se terminer dans des berges à 34% d'inclinaison (moyenne 21%, n = 16, écart-type 6%). L'érosion due à la résurgence d'écoulement hypodermique ou de la nappe phréatique a des pentes minimums de 6% et maximums 36%. La moyenne est 17% (n = 26, écart-type 7%).

Pour l'érosion aux confluences, les pentes sont en moyenne 15% (n = 16, écart-type 5%). L'érosion en nappe quant à elle se manifeste sur des pentes de 1–24%, avec une moyenne de 12% (n = 99, écart-type 6%). Pour le ravinement au champ connecté à la berge et le ravinement au champ (pur) les pentes sont moyennes 11% (n = 38) et 8% (n = 83), respectivement.

Ces statistiques nous apprennent que les sept catégories d'érosion listées ci-dessus sont très actives sur les terres en pentes, là où le contrôle d'érosion ne sera pas facile (pentes > 8%). Puisque ces terres en pente sont tout de même cultivées, la conséquence c'est une activité intense du processus d'érosion.

Les trois autres catégories d'érosion restantes – érosion due au mauvais drainage de puisard, érosion due au mauvais drainage de dépression, et ravinement aux champs connectés aux fossés – ont des pentes dans la tranche 2–8 %. L'érosion sur ces pentes peut être contrôlée, particulièrement pour le ravinement au champ connecté aux fossés (ex avec des cultures fourragères, un travail réduit du sol ou semis direct, des cultures en contre-pente, et/ou du nivellement). Pour l'érosion due au mauvais drainage de puisard et l'érosion due au mauvais drainage de dépression, de meilleures techniques doivent être utilisées telles que des puits d'infiltration ou tranchée filtrante, des rigoles d'interception engazonnées ou des avaloirs, entre autres (AAC-MAPAQ, 2007a).

La Tableau 5 a permis de voir le lien existant entre les catégories d'érosion observées et le type de pente. En effet, un lien direct subsiste entre les deux, car certaines catégories se retrouvent explicitement sur certaines pentes seulement, tel que le ravinement au champ connecté à la berge et qui a en moyenne des pentes de 11%. Il y aussi de l'érosion aux confluences qui s'échelonne seulement sur des pentes de 8–24 %, en accord avec la théorie qui décrit ce type d'érosion.

4.4.3 Catégorie d'érosion et type de sol

Les différentes catégories d'érosion et leurs occurrences (longueur totale) sur les différents types de sols sont présentées à la Tableau 6. Il y a plus de marque d'érosion dans la série de sol Chaloupe, Ce, avec une longueur totale de 2279 m (28% des traces). Cependant, ce type de sol est présent dans 3 zones, ce qui explique la grande occurrence du nombre de trace d'érosion observée ($n = 88$). Les sols avec du bon drainage (comme les Brunisols) sont tout aussi affectés par l'érosion que les sols avec du drainage imparfait (les Podzols). Selon le système de classification des sols (AAC, 2010), les Brunisols sont idéals pour la production agricole alors que ce ne serait pas le cas des Gleysols (où bien plus de traces ont été observées). Cependant, en vérité, avec les données disponibles, une comparaison du résultat parmi les différents types de sol ne peut pas se faire car il subsiste trop de variables. Par exemple, la couverture du sol n'est pas la même parmi les zones visitées, tout comme les pentes, le travail du sol et les systèmes de drainage adoptés sur place.

Tableau 6. Statistique de catégorie d'érosion et type de sol.

Sol				ID (Catégorie 1 à 10) et longueur totale des traces										Grand
Ordre	Série (et zone*)	Texture	Drainage	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	total (m)**
Brunisols	Fa (1)	Lomeuse grossière et fine	Bien	352								124	40	516 n = 10
	Ba (2)			64	351			18				92		525 n = 25
	Pc (7,8)			292	164	215	17	15		44	355	630		1732 n = 54
Gleysols	Ce (4, 5, 10)	Lomeuse grossière	Imparfait	528	603	161		377	193		133	205	79	2279 n = 88
	Ri-e (6,9, 11,12)	Argileuse très fine	Modérément bien	437	231	24		28	208	11		587		1526 n = 77
Podzols	J (1)	Sableux	Imparfait	75	169	7						288	245	784 n = 27
	Ac (3)			84	8	47	50	350	107	106		57	35	844 n = 45

Note

*Zone : l'une des douze zones 1 à 12, où les relevés ont été faits

Série de sol : Fa, Farmington; Ba, Batiscan; Pc, Pontiax; Ce, Chaloupe; Ri-e, Rideau; J, Saint-Jude; Ac, Achigan.

**, n = nombre de trace relevée

Concernant les différentes zones ayant le même type de sol, une comparaison peut être tentée. Les zones 4 et 10 ont le même sol (Ce) et possèdent des sols nus travaillés dans les pentes jusqu'à la berge. En regardant les résultats de ces deux zones dans la Tableau 4, page 60, on peut voir que la zone 10 a plus de marques (n = 56 contre n = 24) ainsi que plus de longueur totale (1210 m contre 802 m). La superficie de la zone 10 est aussi plus grande (13 ha contre 6,7 ha). Les types d'érosion prévalant dans les deux zones ne sont pas les mêmes. Il y a 4 catégories d'érosion existantes dans la zone 4, mais absentes dans la zone 10 (ID 5, 6, 9 et 10, Tableau 4). La zone 10 a elle-aussi une catégorie qui n'existe pas dans la zone 4 (l'érosion due au mauvais drainage de puisard, un système installé dans la zone 10 mais pas dans la zone 4). En résumé donc, dans cette étude-ci, le type de sol ne peut pas directement comparé aux catégories d'érosion car les données sont insuffisantes pour cela.

5 DISCUSSION

Les 12 zones visitées ont permises de relever et de catégoriser les différents types d'érosion existants dans le site d'étude du bassin versant la Chevrotière. Beaucoup de variables subsistent parmi les zones, telles que le type de sol, la pente, la couverture et l'utilisation du sol, le travail du sol, le système de drainage adopté sur place, etc. Une analyse des catégories d'érosion et de leurs pentes a permis de voir le lien subsistant entre les deux.

Ainsi, dans cette section, une discussion approfondie sera faite des mesures qui peuvent être adoptées pour réduire l'érosion sur les pentes cultivées (pour chaque catégorie d'érosion). Durant la discussion, la variabilité des zones et des types de sol ne sera pas tenue en compte. L'accent sera plutôt mis sur la connectivité sédimentologique des traces par rapport au cours d'eau et ce que la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* prévoit dans ce sens. La discussion débutera avec la catégorie d'érosion la plus répandue sur le terrain (en termes de longueur total observée), et suivra cette ordre.

5.1 Mesure proposée pour les pentes cultivées

5.1.1 Le ravinement au champ connecté à la berge

C'est la catégorie la plus répandue sur le terrain avec 38 marques et 1983 m total. Les pentes varient de 2–18%, avec une moyenne de 11% (écart-type 4%). Dans cette catégorie, la connectivité sédimentologique débute en amont sur la terre agricole plate et se terminent dans la bande riveraine et dans le cours d'eau. En des occasions, un fois près de la berge, le ravinement se transforme en tunnel et passe en-dessous de la bande riveraine pour rejoindre le cours d'eau. Sur la terre plate, des processus d'érosion en nappe et du ravinement au champ (superficiels et isolés) sont en cours. Grace à la connectivité avec les pentes, l'érosion en nappe et du ravinement au champ se branchent au processus du ravinement au champ connecté à la berge, et obtiennent ainsi suffisant d'impulsion pour continuellement transporter des particules de sol depuis les terres plates en amont vers le cours d'eau.

Par conséquent, le processus ravinement au champ connecté à la berge ne cause pas seulement de perte de sol dans la pente là où elle se trouve – il draine aussi des particules de sol depuis les terres plates en amont, et les emmène dans la bande riveraine et le cours d'eau. Comparées à toute une

parcelle agricole, les pentes cultivées ne constituent des fois qu'un tout petit pourcentage de la superficie totale. Dans cette optique, une solution envisageable pour régler ce problème d'érosion est de ne plus cultiver la terre agricole jusqu'à dans la pente près de la berge.

Prenons comme exemple le cas de la parcelle agricole relevée dans la zone 12, qui est illustrée dans la Figure 38(a) ci-dessous. La parcelle a une superficie de 70813 m² et est située entre deux berges (une à gauche et l'autre à droite). Une partie de la parcelle draine vers la berge à gauche et vice-versa pour l'autre partie. Les traces d'érosion ont été relevées dans la partie située à gauche. La superficie de la partie drainant à gauche est de 25400 m² (Figure 38a). Les directions d'écoulement d'eau ont été obtenues du model numérique de terrain à 1 m, et générées avec les outils hydrologiques d'écoulement, d'accumulation et de ruissellement (ESRI, 2012).

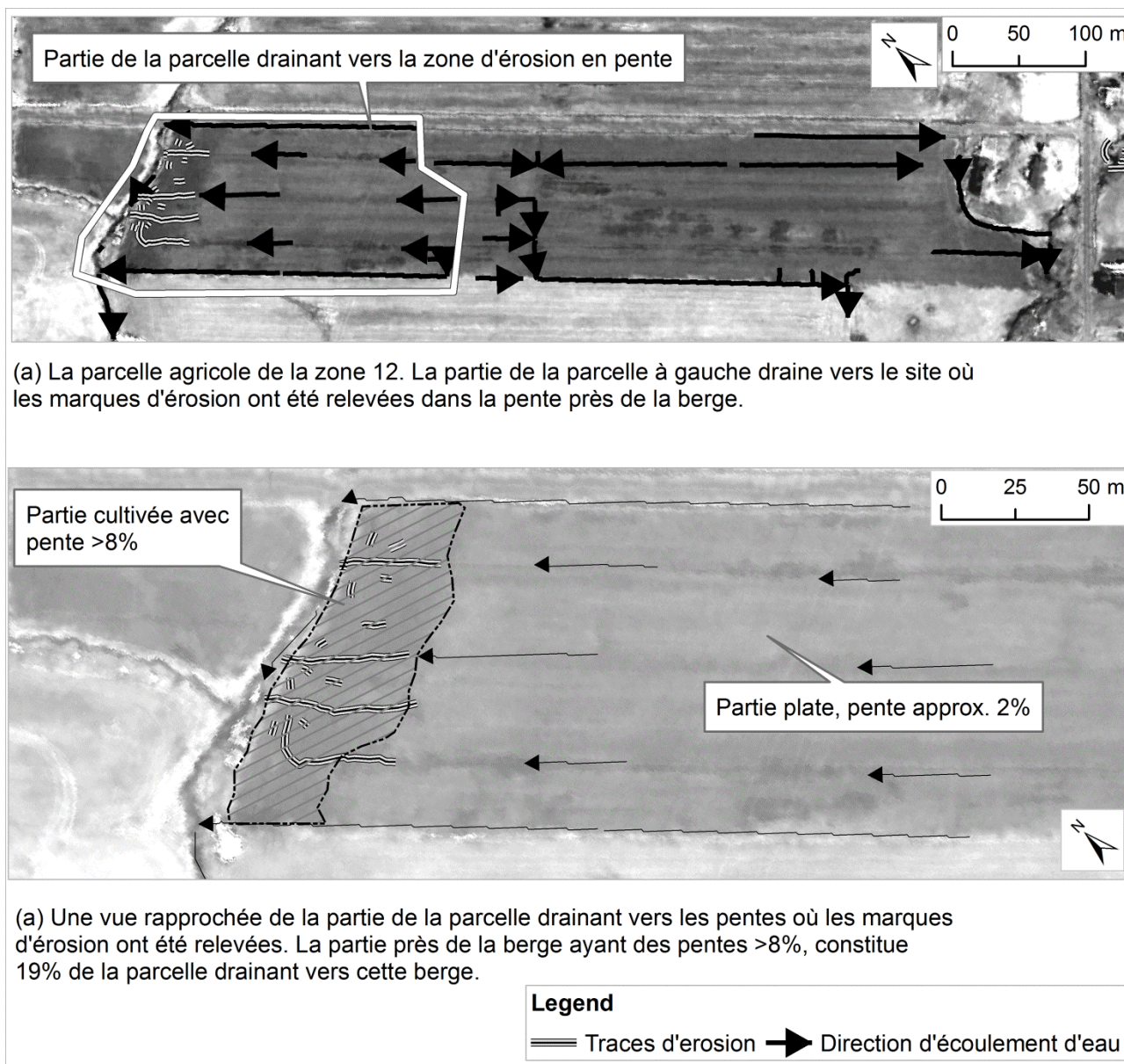


Figure 38 : Direction d'écoulement d'eau et les pentes cultivées.

Les ravinements au champ (connecté à la berge) dans cette partie en pente à gauche, drainent des particules de sol provenant de la portion plate en amont par des connections à l'érosion en nappe et du ravinement existants sur la portion plate.

Les terres en pentes (>8%), ne sont que 4727 m², ce qui est 19% de la superficie totale de cette portion de la parcelle drainant vers la gauche (Figure 38b). Si ces 19% de terre en pente ne sont plus cultivées, mais converties en bande riveraine, plus aucune marque de ravinement connecté à la berge ne sera observée sur ces pentes. Ainsi donc, l'érosion totale provenant de cette partie de la parcelle diminuera

par une grande quantité, (possiblement bien plus que par 19%). Ces terres en pentes font environ 40–60 m de long, ce qui sera la largeur de la bande riveraine qui devra être mise en place. Une telle largeur de bande riveraine est bien au-dessus que ce que la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* prévoit (normalement 1 ou 3 m). En effet, comme les relevées l'ont indiqué, la largeur de bande riveraine requise dépend de la distance à partir de la berge jusqu'à le replat en amont, où des mesures de conservation de sol et de l'eau peuvent être mises en place, notamment des puits d'infiltration ou tranchée filtrante, et/ou des avaloirs, qui serviront à drainer l'eau depuis la parcelle plate vers le cours d'eau (AAC-MAPAQ, 2007a). Cette proposition est illustrée dans la Figure 39 ci-dessous.

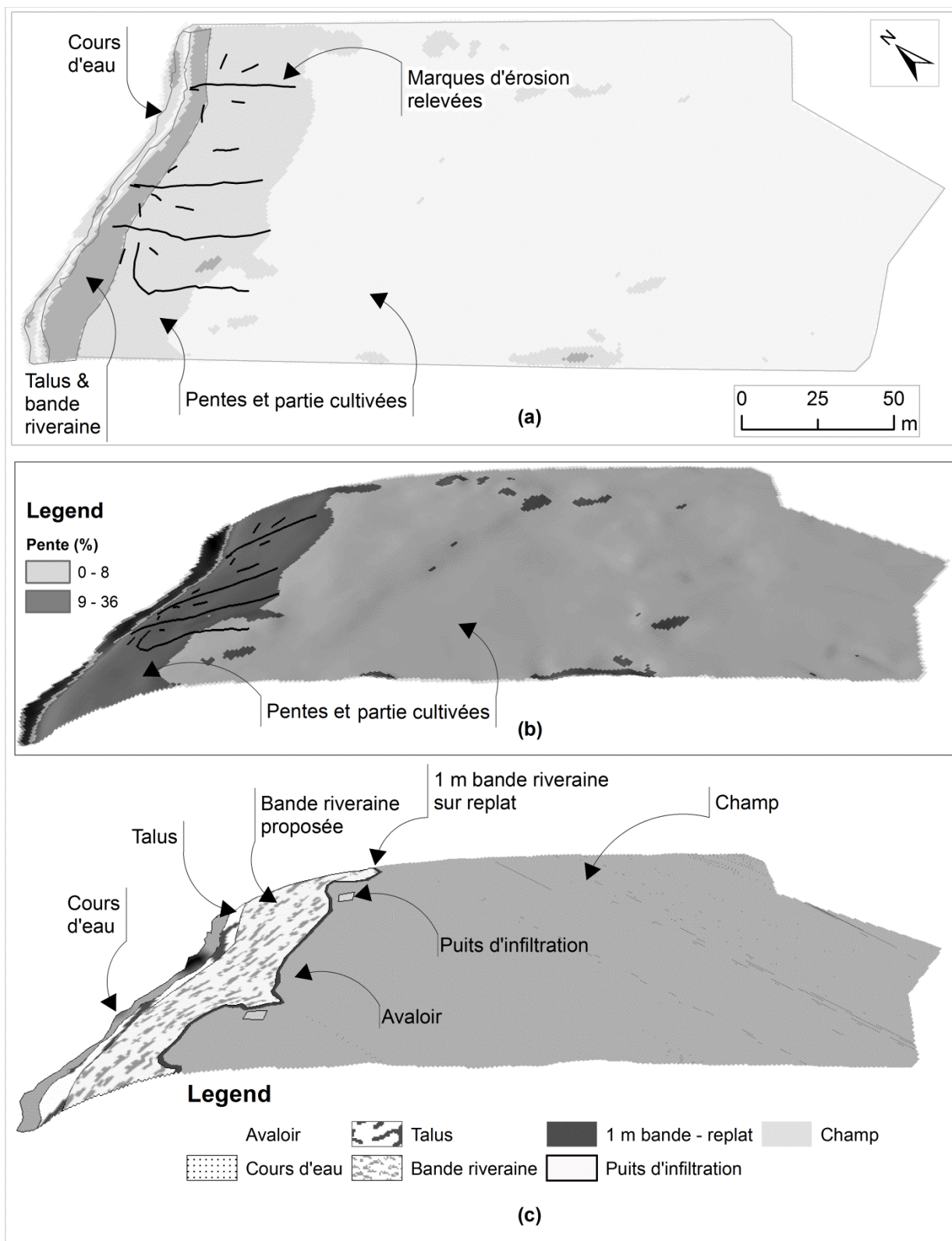


Figure 39 : Aménagement proposé - (a) état actuel du site vu en plan et (b) vue en 3D. (c) les mesures proposées vues en 3D.

La Figure 39(a) est une vue en plan montrant le cours d'eau, le talus, la pente cultivée ($>8\%$), et le replat en amont avec des pentes $\sim 2\%$. Une vue équivalente en perspective (3D) est donnée dans la Figure 39(b) (avec une exagération verticale de facteur 3). Dans cette Figure 39(b), on peut clairement voir le replat en amont qui est cultivé, aussi bien que les pentes $>8\%$ près du talus et aussi cultivées, et où les marques d'érosion ont été relevées. La proposition de ne plus cultiver de telles pentes près du talus est illustrée dans la partie (c) de la Figure 39. Dans cette Figure 39(c), on voit le cours d'eau, le talus, la bande riveraine proposée (dans les pentes) avec des largeurs variable de 40–60 m. Après la bande riveraine, une fois sur le replat, une bande additionnelle de 1 m est laissée. Cette bande additionnelle de 1 m sur le replat aidera à diminuer la vitesse, l'élan et le dynamisme du ruissellement avant que celui-ci ne pénètre dans la bande riveraine. Après la bande additionnelle de 1 m, les exploitations agricoles peuvent débuter, ainsi que l'installation de systèmes de drainage, tels que, des puits d'infiltration ou tranchée filtrante, et/ou des avaloirs, qui serviront à drainer l'eau depuis la parcelle plate vers le cours d'eau sans causer de l'érosion (AAC-MAPAQ, 2007a).

5.1.2 Érosion en nappe et ravinement au champ

L'érosion en nappe est la 2^{ième} catégorie la plus répandue sur le terrain avec 99 marques et 1832 m total (indicatif). Les pentes varient de 1–24%, avec une moyenne de 12% (écart-type 6%). Cette catégorie d'érosion a été beaucoup observée sur les terres en pente proches du talus. Si les mesures proposées dans la Figure 39 ci-dessus sont adoptées, l'érosion en nappe sur les pentes près des berges va diminuer. D'un autre côté, l'érosion en nappe sur les pentes $<2\%$ sur le replat va être toujours active, mais elle pourra facilement être maîtrisée par un bon couvert végétal, un travail réduit du sol et/ou une rotation équilibrée (AAC-MAPAQ, 2007a). Les sédiments provenant de ce processus d'érosion pourront être déposés dans les tranchées filtrantes et autres puits d'infiltration, et n'auront ainsi plus l'occasion de rejoindre le cours d'eau par voie de ravinement au champ connecté à la berge.

Le ravinement au champ est la 3^{ième} catégorie la plus répandue sur le terrain avec 83 marques et 1566 m total. Les pentes varient de 1–32%, avec une moyenne de 8% (écart-type 5%). Ce type d'érosion est actif dans les pentes près des berges aussi que sur le replat en amont avec des pentes $<2\%$. Tout comme l'érosion en nappe, les mesures proposées de ne plus cultiver les pentes près de berges vont beaucoup aider à diminuer le ravinement au champ. Sur les pentes $<8\%$, le ravinement au champ peut être maîtrisé par des cultures fourragères, un travail réduit du sol ou semis direct, des cultures en contre-pente, et/ou du nivellement (AAC-MAPAQ, 2007a).

5.1.3 Érosion due au mauvais drainage de dépression

C'est la 4^{ième} catégorie la plus répandue sur le terrain avec 23 marques et 788 m total. Les pentes varient de 1–23%, avec une moyenne de 5% (écart-type 4%). Ce type d'érosion n'est pas directement originaire dans les pentes près des berges. Le processus commençait dans le replat en amont et générerait du ruissellement et du ravinement qui finissaient leur course dans la bande riveraine et le cours d'eau. Le problème de mauvais drainage de dépression sur le replat en amont peut être réglé en adoptant les solutions proposées par AAC-MAPAQ (2007a) notamment, du nivellement, des puits d'infiltration ou tranchée filtrante, et des avaloirs.

5.1.4 Érosion due à la résurgence d'écoulement hypodermique ou de la nappe phréatique

C'est la 5^{ième} catégorie la plus répandue sur le terrain avec 26 marques et 508 m total. Les pentes varient de 6–36%, avec une moyenne de 17% (écart-type 7%). Ce processus d'érosion a été observé sur les pentes >8% et proches de la berge. La proposition de ne plus cultiver ces pentes va directement régler ce problème sur ce type de pente proche de la berge.

5.1.5 Érosion due au mauvais drainage de puisard

C'est la 6^{ième} catégorie la plus répandue sur le terrain avec 10 marques et 488 m total. Les pentes varient de 4–16%, avec une moyenne de 7% (écart-type 4%). Tout comme l'érosion due au mauvais drainage de dépression, ce processus est originaire sur le replat en amont et est causé par une défaillance des systèmes de drainage en place. L'installation de meilleurs systèmes tels que des avaloirs devra régler le problème de ce type d'érosion, qui n'est pas directement relié à l'utilisation des pentes pour exploitations agricoles.

5.1.6 Érosion aux confluences

C'est la 7^{ième} catégorie la plus répandue sur le terrain avec 16 marques et 454 m total. Les pentes varient de 8–24%, avec une moyenne de 15% (écart-type 5%). En des occasions, les ravinelements au champ connecté à la berge (originaires des pentes) se sont transformés en érosion aux confluences. Dans de tels cas, ce processus d'érosion peut être réduit en ne plus cultivant les pentes près des berges. Dans les autres cas, les solutions proposées par AAC-MAPAQ (2007a) sont à adopter, notamment, des chutes enherbées ou enrochées, et des fossé-avaloirs.

5.1.7 Ravinement au champ connecté aux fossés

C'est la 8^{ième} catégorie la plus répandue sur le terrain avec 10 marques et 359 m total. Les pentes varient de 2–10%, avec une moyenne de 4% (écart-type 2%). Ce processus d'érosion est actif dans le replat en amont avec des pentes ~2%. Sur de telles pentes, les ravinelements peuvent être maîtrisés par des cultures fourragères, un travail réduit du sol ou semis direct, des cultures en contre-pente, et/ou du nivellement. Des voie d'eau engazonnée (ou enrochée) ainsi que des avaloirs et risbermes pourront aussi aider (AAC-MAPAQ, 2007a).

5.1.8 Ravinement des berges

C'est la 9^{ième} catégorie la plus répandue sur le terrain dans les 12 zones visitées avec 7 marques et 127 m total. Les pentes varient de 20–45%, avec une moyenne de 30% (écart-type 8%). Outre les mesures de ne plus cultiver les pentes, les autres solutions proposées par AAC-MAPAQ (2007a) sont à adopter, notamment, les chutes enrochées et les avaloirs avec risberme.

5.1.9 Érosion en tunnel

C'est la catégorie la moins observée avec 16 marques et 101 m total. Les pentes varient de 9–34%, avec une moyenne de 21% (écart-type 6%). Ce type d'érosion a été uniquement observé dans les pentes près du talus. La proposition de ne plus cultiver ces pentes va directement régler le problème de ce type d'érosion.

5.2 Discussion générale

En détaillant les mesures de conservation pour chaque catégorie d'érosion, on peut voir que la proposition de ne plus cultiver les pentes peut résoudre directement les problèmes d'érosion les plus observés sur le terrain, à l'exception de (i) l'érosion due au mauvais drainage des dépressions, (ii) l'érosion due aux mauvais drainages des puisards et (iii) du ravinement et de l'érosion en nappe au champ isolés (sur le terres plates avec pentes ~2%). Ces problèmes d'érosion ont cependant leurs solutions figurant dans les bulletins de vulgarisation publiés par AAC-MAPAQ (2007a).

La pente joue un rôle important dans le processus d'érosion, de telle sorte que les pentes abruptes sont toujours sujettes à l'érosion (voir par exemple Jankauskas et Fullen (2002)). Dans de telles pentes, la

meilleure façon de procéder est de conserver toute la pente jusqu'au replat avec une bande riveraine élargie, tenant en compte ainsi efficacement l'inclinaison et la longueur de la pente (LS), qui est le paramètre déterminant pour le facteur topographique dans le processus d'érosion (voir par exemple Nigel et Rughooputh (2010a, 2010b)).

Si les pentes >8% doivent impérativement être converties en bandes riveraines, la solution n'est pas aussi direct pour les pentes <8%. Dans de tels cas, la méthode pour déterminer la largeur des bandes riveraines requise devrait être davantage fondée sur une méthodologie qui prend en compte, non seulement la topographie, mais aussi le type de sol, la turbulence de l'écoulement, etc. Un tel modèle est actuellement en cours de développement (à savoir le modèle de dimensionnement des bandes de végétation filtrantes (VFDM) de Gumiere et Rousseau (2011)).

La réglementation actuelle sur les bandes riveraines au Québec (MDDEP, 2007a) peut maintenant bénéficier des résultats de cette étude (concernant spécifiquement les types de reliefs et les pentes des 12 zones d'érosion relevées dans le bassin La Chevrotière). Lorsque encore plus études similaires sur le sujet seront effectuées et pour d'autres bassins versants, il sera possible au cours des années de mettre en place une solide base de données et commencer à argumenter pour l'inclusion de ces découvertes scientifiques dans la formulation de règlements de protection de sol et de l'eau (Lackey, 2007; Irvine, 2009; Bui et al., 2011). Pour le moment, il semble que c'est plus la politisation qui s'est incrusté dans la science, en arbitrairement réglementant la largeur des bandes riveraines à 1–3 m.

Cependant, la bande riveraine, étant un turbulent sujet de constante recherche et de discussion, pourra toujours compter sur les travaux comme ceux qui sont présentés dans ce rapport et d'autres, comme Rousseau et al. (2012) pour le Canada et Gumiere et al. (2011) et Edwards et al. (2012), plus au niveau international.

Et finalement, il pourra être argumenté que la conversion de grandes sections de pentes cultivées en bandes de végétation diminuera la superficie de terres disponibles pour la production agricole, ce qui entraînera une perte pour l'économie. Toutefois, le programme provincial actuel « Prime-Vert » soutient les fermes afin qu'elles puissent se conformer aux lois provinciales, les règlements et les politiques environnementales du Québec (MAPAQ 2012). Dans le cas où la politique en place décide de réglementer les terres en pentes cultivées proches des cours d'eau en zones de conservation, le programme Prime-Vert devra pallier à la compensation monétaire pour ces scénarios de conservation des terres - même si cela pourrait être très complexe à mettre en œuvre au Québec, comme discuté par

L'Italien (2012). En plus des programmes provinciaux, d'autres organisations pourraient aussi être intéressées à fournir une compensation pour des scénarios de conservation. Par exemple, au cours de la période 2006–2010, la «Fondation de la Faune du Québec» mis en place un programme de compensation monétaire à 522 agriculteurs pour la conservation de la biodiversité sur les terres agricoles proches des cours d'eau (FFQ 2011).

Une bande riveraine élargie, tel que proposé dans ce travail, sera donc bénéfique à la biodiversité. Par exemple, Spackman et Hughes (1995) a montré que les bandes riveraines des largeurs de 10–15 m peuvent récupérer 90% des plantes vasculaires terrestres trouvées sur leur territoire (Vermont, États-Unis), et les oiseaux et mammifères s'établissent bien au-delà de cette distance. Basé sur des études dans la rivière Boyer au Québec, Maisonneuve et Rioux (2001) recommandent que pour maintenir une bonne biodiversité de micromammifères et herpétofaune, il doit y avoir une complexité de structure végétale dans une bande riveraine (arborescente, arbustive et herbacée), et que le nombre d'espèce présente augmente avec la largeur de la bande riveraine.

La conversion de pentes cultivées en bandes végétatives sera également économiquement avantageux pour l'agriculteur par le biais de moins de perte sur les engrais et la réduction des pertes de sol — car le sol possède une valeur propre en soit aussi, ainsi que la réduction de temps passé à oblitérer les marques d'érosion (MDDEP, 2007b). Les organismes de bassin versant comme la CAPSA ont aussi le savoir-faire technique et la main-d'œuvre nécessaire pour aider les agriculteurs dans leurs projets de conversion de pentes cultivées en bande enherbées et de rendre ces initiatives rentables pour eux — tant sur le plan économiquement qu'écologiquement. Aussi, dans le cas du présent bassin versant, 34% de ses terres sont utilisées pour la culture, ce qui est bien au-dessus de la valeur de 5% recommandée par le MDDEP (2010) pour soutenir un impact limité sur les eaux des ruissellements des fertilisants, en particulier le phosphore. Par conséquent, la conversion des pentes cultivées en bandes de végétation sera beaucoup plus bénéfique que préjudiciable au bassin versant la Chevrotière (Nigel et al., 2012).

6 CONCLUSION

Au mois d'avril, il y a une occurrence de plusieurs évènements de pluie intensive. Couplé avec la fonte de neige et un sol saturé en eau, le résultat c'est une grande quantité de ruissellement de surface et le débit de rivière devient le plus élevé de l'année. En la présence de sols nus-travaillés ou avec peu de végétation protectrice, le ruissellement donne lieu à divers processus d'érosion, notamment, de l'érosion en nappe, du ravinement, de l'érosion aux confluences, de l'érosion de berge, de l'érosion due à la résurgence de l'écoulement hypodermique et l'érosion due au mauvais drainage de dépression.

Le bassin versant la Chevrotière (108 km²) fait présentement l'objet d'une étude d'extraction de trace d'érosion à partir d'images satellitaires stéréoscopiques à très haute résolution spatiale (50 cm). Afin de bien comprendre les processus d'érosion en cours dans le bassin versant, des relevés terrain ont été effectués pendant 4 journées entre le 24 avril et 8 mai 2012 — période coïncidant de près avec la date de prise des images stéréoscopiques le 14 avril 2012 et caractérisant le sol nu après la fonte de neige. Dix (10) catégories d'érosion ont été observées sur le terrain (12 zones agricoles proches des bandes riveraines ont été visitées). Cela a résulté en 328 marques d'érosion observées avec 8206 m longueur totale. La majorité des traces a été observée dans des pentes >8%.

Le relevé des traces d'érosion a permis de mettre en évidence une défaillance au niveau de ce que la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* prévoit concernant la largeur de bande riveraine requise pour les terres agricoles. Afin de se conformer à la politique, les bandes riveraines dans le bassin versant sont de 3 m après la ligne de hautes eaux ou 1 m après le talus. En adoptant ces largeurs minimums, les pentes >8% en amont du talus ou de la bande riveraine peuvent alors être cultivées. Ces pentes peuvent avoir des largeurs de 15–60 m, avant que le replat de la parcelle ne soit atteint. Une proposition de convertir ces pentes en bandes riveraine est discutée dans ce rapport. Les effets positifs que cela apporterait en matière de réduction d'érosion et de coupure de la connectivité sédimentologique ont été discutés et soutenus par des illustrations hydrologiques 3D. Presque tous les processus d'érosion observés sur le terrain vont être réduits avec la proposition faite dans ce rapport de convertir les pentes >8% près de la berge en bande riveraine.

7 RÉFÉRENCES

- AAC. (2010) Système Canadien de Classification des Sols, 3ième édition. Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). <http://sis.agr.gc.ca/siscan/taxa/cssc3/intro.html>. 10 août 2011.
- AAC-MAPAQ (2007a). Fiche technique - diagnostic et solutions de problèmes d'érosion au champ et de drainage de surface. Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). Dernier accès : 9 août 2012.
http://www4.agr.gc.ca/ressources/prod/doc/terr/pdf/Solutions_pour_erosion_du_champ_et_le_drainage_de_surface.pdf
- AAC-MAPAQ (2007b). Fiche technique - Avaloirs et puisards. Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). Dernier accès : 9 août 2012.
- Bourque, P.A. (2004). Le Québec géologique. Dans Planète Terre. Département de Géologie et de Génie géologique de l'Université Laval.
http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html. 10 août 2012.
- Bui, E.N., Hancock, G.J. and Wilkinson, S.N., 2011. 'Tolerable' hillslope soil erosion rates in Australia: Linking science and policy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(1): 136-149.
- CAPSA (2011) Organisme des bassins versants des rivières Sainte-Anne, Portneuf, La Chevrotière et Belle-Isle). Portrait préliminaire des nouvelles zones de gestion intégrée de l'eau par bassin versant de la CAPSA : les bassins versants des rivières La Chevrotière et Belle-Isle.
- Choquette, C. AM Robichaud, A Paillart, et Goyette Noël, MP, 2009. Analyse de la validité des règlements municipaux sur les bandes riveraines. *Revue de Droit de l'Université de Sherbrooke (RDUS)*, 39 : 261-328.
- Deslandes, J. et J. Belvisi, (2008). Outils de diagnostic multi-échelle pour des applications en matière de lutte contre l'érosion. Dans : *Géomatique appliquée à la régie des sols : pour des terres bien égouttées et une eau propre*. St-Hyacinthe, 21 janvier 2008, dernier accès 9 août 2012, http://www.agrireseau.qc.ca/references/6/Belvisi_JetDeslandes_J.pdf
- EC (2007). Données climatiques quotidiennes canadiennes (DCQC). Fichier électronique. Environnement Canada (EC).
ftp://ftp.tor.ec.gc.ca/Pub/Data/Canadian_Daily_Climate_Data_CD/CD/ 17 août 2012.
- Edwards, A.C., Watson, H.A. and Cook, Y.E.M., 2012. Source strengths, transport pathways and delivery mechanisms of nutrients, suspended solids and coliforms within a small agricultural headwater catchment. *Science of The Total Environment*, 434(0): 123-129.
- ESRI (2012). ArcHydro Tools for ArcGIS10 software. Redlands : California.

- ESRI (2011). ArcGIS Software version 10. Redlands : California.
- Gumiere, S.J., Le Bissonnais, Y., Raclot, D. and Cheviron, B., 2011. Vegetated filter effects on sedimentological connectivity of agricultural catchments in erosion modelling: a review. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(1): 3-19.
- Gumiere, S.J. and Rousseau, A.N., 2011. Development of VFDM: A Riparian Vegetated Filter Dimensioning Model, International Symposium on Erosion and Landscape Evolution (ISELE). American Society of Agricultural & Biological Engineers, Anchorage, Alaska. September 18-21, 2011. <http://topsoil.nserl.purdue.edu/~flanagan/isele2011/presentations/11143-Rousseau.pdf>.
- Irvine, J.R., 2009. The successful completion of scientific public policy: lessons learned while developing Canada's Wild Salmon Policy. *Environmental Science & Policy*, 12(2): 140-148.
- Jankauskas, B. and Fullen, M.A., (2002). A pedological investigation of soil erosion severity on undulating land in Lithuania. *Canadian Journal of Soil Science*, 82(3): 311-321.
- Lackey, R.T., 2007. Science, scientists, and policy advocacy. *Conserv Biol*, 21(1): 12-7.
- L'Italien, F. 2012. L'accaparement des terres et les dispositifs d'intervention sur le foncier agricole - Les enjeux pour l'agriculture québécoise. Research Report., Institut de recherche en économie contemporaine (IREC), Montréal
- MAPAQ, 2012. Le programme Prime-Vert pour promouvoir les bonnes pratiques agricoles. The Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/productions/md/programmes/pages/primevert.denier> accès 10 Septembre 2012.
- MAPAQ - IRDA. (2003). Pédologie (fichiers numériques) de source Inventaire des terres du Canada de l'Aménagement rural et développement de l'agriculture (ARDA). Échelle de numérisation: 1 : 20 000, année de numérisation: 1998-2003. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) et Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA).
- MDDEP - CEHQ. (2011). Fiche signalétique de la station 050501 - La Chevrotière. Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) http://www.cehq.gouv.qc.ca/depot/historique_donnees_som_mensuels/050501_Q_MOY.txt. 10 août 2012.
- MDDEP, 2010. Les bases scientifiques du Règlement Exploitation Agricole (REA). Québec, Québec : Développement durable, environnement et parcs Québec (MDDEP). http://www.mddep.gouv.qc.ca/milieu_agri/agricole/bases.pdf 27 août 2012.
- MDDEP (2007a). Protection des rives, du littoral et des plaines inondables : guide d'interprétation. Québec, Québec : Développement durable, environnement et parcs Québec (MDDEP).

- MDDEP (2007b). Vos lacs et cours d'eau – une valeur à préserver en milieu agricole. Québec, Québec : Développement durable, environnement et parcs Québec (MDDEP). <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rives/agricole/index.htm>, 21 août 2012
- MDDEP (2007c). Vos lacs et cours d'eau – une richesse collective à préserver. Québec, Québec : Développement durable, environnement et parcs Québec (MDDEP). <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rives/richesse/LacsCoursDeau.pdf>, 21 août 2012
- MDDEP (2007d). Efficacité des bandes riveraines : analyse de la documentation scientifique et perspectives : Développement durable, environnement et parcs Québec (MDDEP). <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/fiches/bandes-riv.pdf> , 21 août 2012
- MDDEP (2002). Règlement sur les exploitations agricoles (REA): Développement durable, environnement et parcs Québec (MDDEP). http://www.mddep.gouv.qc.ca/milieu_agri/agricole/index.htm, 21 août 2012
- Morgan (2005). Soil erosion and conservation. 3rd Ed. Blackwell, Oxford.
- MRNF (2006). Gros plan sur la Capitale-Nationale. Structure géologique. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF). <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/capitale-nationale/mines/mines-structure.jsp>. 10 août novembre 2012.
- MRNF (2005). Gros plan sur les mines. Aperçu géologique. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF). <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/mines/geologie/geologie-apercu.jsp>. 10 août 2012.
- Nigel, R, Chokmani, K, Novoa, J, Rousseau, AN, and Dufour P (2012) The turbulent boundary between hillslope erosion processes and the downslope watercourse – results from digital terrain analysis and field and remote sensing surveys of a small river basin in Québec, Canada. Canadian Journal of Soil Science (submitted 1st October 2012). No. CJSS2012-105.
- Nigel, R. and Rughooputh, S., 2010b. Mapping of monthly soil erosion risk of mainland Mauritius and its aggregation with delineated basins. *Geomorphology*, 114(3): 101-114.
- Nigel, R. and Rughooputh, S.D.D.V., 2010a. Soil erosion risk mapping with new datasets: An improved identification and prioritisation of high erosion risk areas. *CATENA*, 82(3): 191-205.
- Rousseau, A.N., Lafrance, P., Lavigne, M.-P., Savary, S., Konan, B., Quilbé, R., Jiapizian, P. and Amrani, M., 2012. A Hydrological Modeling Framework for Defining Achievable Performance Standards for Pesticides. *J. Environ. Qual.*, 41(1): 52-63.
- Spackman, S. C. and Hughes, J. W. 1995. Assessment of minimum stream corridor width for biological conservation: Species richness and distribution along mid-order streams in Vermont, USA. *Biological Conservation* 71(3):325-332.
- Wirtensohn, M, 2011. Revue de Littérature et travaux terrain en vue de la caractérisation des bandes riveraines par télédétection satellitaire à haute résolution spatiale. Rapport de stage, Institut national de la recherche scientifique (INRS), Centre Eau Terre Environnement, Québec, Canada.