UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

# « RAPPORT DE STAGE : PARTICIPATION AU PROJET *SALIX EN AGRICULTURE POUR DES BANDES RIVERAINES ÉNERGÉTIQUES* (SABRE) »

TRAVAIL PRÉSENTÉ COMME
EXIGENCE PARTIELLE
DANS LE CADRE DE L'ACTIVITÉ
*STAGE EN MILIEU PROFESSIONNEL (GEO8825)*

RESPONSABLE : BENOÎT ST-ONGE

PAR
RACHEL PERRON

30 OCTOBRE 2014

# Table des matières

Table des matières ..... i
Liste des figures ..... iii
Liste des tableaux ..... iv
Liste des annexes ..... v
Contexte du stage ..... 1
Objectifs de stage - mandat ..... 3
Objectifs pédagogiques ..... 4
Déroulement du stage ..... 4
Rapport des activités ..... 5
Présentation des sites d'expérimentation ..... 5
Site expérimental de Boisbriand ..... 6
Site expérimental de St-Roch-de-l'Achigan ..... 7
Sortie sur le terrain ..... 8
Gestion et recherche de données ..... 10
Recherche de données numériques ..... 10
Révision des données de terrain ..... 11
Correction des données dGPS ..... 11
Création d'une base de données sur MS Access ..... 11
Logiciels QGis et GRASS ..... 17
Cartographie ..... 17
Localisation des sites à l'échelle du Québec ..... 18
Plan détaillé des sites d'étude ..... 19
Photos aériennes ..... 21
Stratigraphie ..... 23
Correction des données et exportation ..... 23
Modélisation avec GMS ..... 23
Modèles de terrain ..... 24

Méthodologie ..... 25
Hydrologie ..... 25
Détermination de la surface drainée pour les collecteurs de surface ..... 29
Résultats ..... 32
Calcul des pentes ..... 33
Méthodologie ..... 33
Calculs effectués dans Microsoft Excel ..... 34
Résultats ..... 35
Nappes phréatiques ..... 36
Remaniements des données ..... 36
Traitement dans ArcGis ..... 37
Importation des données géomatiques dans MS Excel ..... 38
Outil Buffer Builder ..... 39
Conclusion ..... 42
Références ..... 44
ANNEXES ..... 45

## Liste des figures

Figure 1. Organigramme du projet SABRE. ..... 2
Figure 2. Disposition des traitements dans les bandes riveraines. ..... 5
Figure 3. Disposition relative des instruments de mesure dans les bandes riveraines. 6
Figure 4 Ruisseau Dumontier, site expérimental de Boisbriand, avril 2014. ..... 7
Figure 5. Ruisseau Moïse-Dupras, site expérimental de St-Roch-de-l'Achigan. ..... 8
Figure 6. Prélèvement d'un échantillon d'eau dans un des collecteurs de surface, avril 2014. ..... 9
Figure 7 Relations entre les tables de la base de données MS Access du volet géomatique du projet SABRE. ..... 12
Figure 8 Détail de la carte de référence des bornes géodésiques pour St-Roch-de-l'Achigan. .(GEODEQ III, 2007) ..... 15
Figure 9 Positions relatives des bornes géodésiques à St-Roch-de-l'Achigan, comparées aux points relevés ..... 16
Figure 10 Deuxième secteur de St-Roch-de-l'Achigan où des bornes géodésiques ont été relevées. ..... 16
Figure 11 Carte illustrant la localisation des sites d'étude à l'échelle du Québec et de la région du sud du Québec. ..... 19
Figure 12 Disposition des instruments de collecte sur les sites de Boisbriand et de St-Roch-de-l'Achigan ..... 20
Figure 13 Comparaison du tracé du ruisseau Dumontier en 1930 et en 2011. ..... 22
Figure 14 Stratigraphie des secteurs NE et SE à Boisbriand réalisée à l'aide de GMS. ..... 24
Figure 15 Model builder : étapes effectuées par le *workflow Basic Dendritic Terrain Processing*. ..... 27
Figure 16 Modélisation du ruissellement de surface pour le site de Boisbriand. ..... 29
Figure 17 Analyse hydrologique générée à l'aide d'ArcHydro pour le site de St-Roch-de-l'Achigan. ..... 30
Figure 18 Enrochement à St-Roch-de-l'Achigan dirigeant l'écoulement de l'eau vers le ruisseau. ..... 32
Figure 19 Calcul des pentes pour le site expérimental de St-Roch-de-l'Achigan. ..... 34
Figure 20 Distribution des pentes pour les sites de Boisbriand et St-Roch-de-l'Achigan, d'après le *Système canadien de classification des sols* (1998). ..... 35
Figure 21 Exemple de modélisation de nappe phréatique créée à l'aide d'ArcMap. . 38
Figure 22 Exemple de résultats obtenus par l'outil BufferBuilder. ..... 40

## Liste des tableaux

Tableau 1. Position des bornes géodésiques relevées à St-Roch-de-l'Achigan. ..... 14

## Liste des annexes

Annexe I Photos des sites ..... 45
Annexe II Plan des sites ..... 47
Annexe III Photos aériennes anciennes ..... 48
Annexe IV Modèles de terrain ..... 50
Annexe V Modèles de ruissellement ..... 51
Annexe VI Paramètres pour la modélisation du ruissellement ..... 52
Annexe VII Classes de pentes ..... 54
Annexe VIII Base de données SABRE ..... 55

## Contexte du stage

Dans le cadre de mon stage pour la maîtrise professionnelle en aménagement du territoire et systèmes d'information géographique, j'ai eu la chance de collaborer au projet SABRE (*Salix en Agriculture pour des Bandes Riveraines Énergétiques*) en tant que stagiaire en géomatique. Le projet SABRE s'inscrit dans le contexte de la *Politique québécoise de protection, des rives, du littoral et des plaines inondables* qui préconise de maintenir une bande riveraine de 3 mètres de large (au minimum) entre les cours d'eau traversant leurs champs et la zone cultivée. Ceci a pour but de protéger les cours d'eau des contaminants et sédiments provenant des cultures. Par contre, l'efficacité des bandes riveraines aussi étroite, en contexte québécois n'a pas été démontrée, et il s'agit là d'un des premiers objectifs du projet SABRE. Par ailleurs non cultivée sous la bande riveraine représente des pertes de rendement pour les agriculteurs. Le projet SABRE étudie donc une façon de valoriser ces bandes riveraines en proposant d'utiliser l'espace pour la culture intensive de saules sur courte rotation. Une fois coupés, les arbres peuvent être exploités pour la production d'énergie et ainsi apporter un revenu aux agriculteurs. (Hénault-Éthier, 2011) Enfin, des thématiques sociales et politiques visant le cadre règlementaire global et l'acceptabilité des nouvelles technologies par les agriculteurs sont aussi abordées. Le projet SABRE comprend donc plusieurs thèmes de recherche, tel qu'illustré dans la figure suivante.

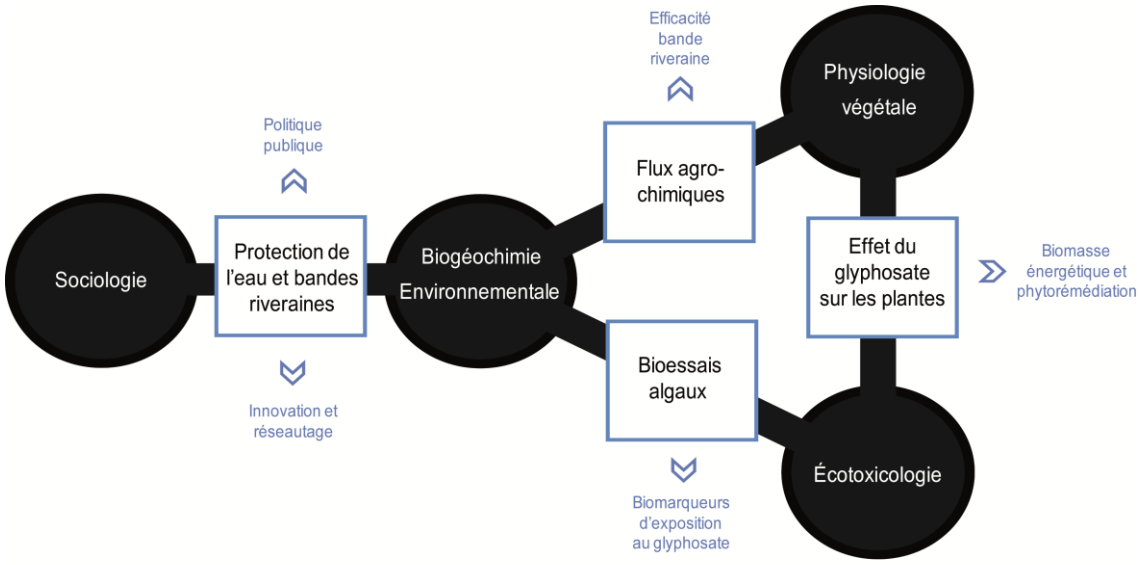



Figure 1. Organigramme du projet SABRE.
(Hénault-Éthier et al. 2014, Vecteur Environnement (2014) avec la permission de l'auteure)

Pendant la réalisation de mon stage, j'ai travaillé principalement sous la supervision de Louise Hénault-Éthier. Elle est une candidate au doctorat en Sciences de l'Environnement et travaille au sein du groupe de recherche GEOTOP de l'Université du Québec à Montréal sur le projet SABRE, sous la direction du professeur Marc Lucotte. Parmi les différents thèmes du projet, Louise Hénault-Éthier est responsable de la recherche sur les flux agrochimiques (figure 1.) Elle s'intéresse principalement à l'efficacité des bandes riveraines de saules au niveau de la filtration et de la rétention des polluants agricoles dissous. Parmi les contaminants étudiés, notons l'herbicide Roundup (agent actif : glyphosate), les fertilisants (azote, phosphore) et les particules de matière organique. Ses analyses sont réalisées grâce à des échantillons de sol, d'eau de ruissellement, d'eau de drainage et d'eau souterraine. (Hénault-Éthier, 2011) Pour compléter les analyses statistiques, une meilleure compréhension de l'hydrologie et de l'hydrogéologie des sites d'études, incluant certaines données issues de modélisation, étaient nécessaires.

Une partie du travail en géomatique avait déjà été accompli en 2011 par une finissante au DESS en SIG, Nathalie Wiseman. Cette dernière a participé aux travaux de terrain à l'été 2011, dont l'enregistrement des points dGPS et l'extraction des carottes de sol pour la stratigraphie. Par la suite, elle a utilisé le logiciel GRASS pour créer des modèles numériques de terrain et étudier l'écoulement des eaux de surface. Un plan des sites et de la disposition des instruments a également été réalisé à ce moment. Cependant, une partie du travail restait à accomplir et de nouvelles données ont été acquises depuis 2011. J'ai donc repris la suite des travaux de Nathalie Wiseman, avec de nouvelles réalisations à compléter.

### Objectifs de stage - mandat

Le premier projet était la réalisation d'une carte de localisation des sites d'étude de Boisbriand et de St-Roch-de-l'Achigan, à l'échelle du Québec, à des fins de publication. Il fallait également refaire des modèles numériques de terrain (MNT) des sites avec une présentation cartographique adéquate pour qu'ils soient utilisés dans des publications ou présentations scientifiques. Avec ces MNT, nous espérions pouvoir développer une méthode pour déterminer la pente en amont (côté champs) et en aval (côté ruisseau) de chaque instrument.

Un autre volet important du travail concernait l'analyse du comportement de l'eau sur les terrains d'étude, c'est-à-dire voir la quantité d'eau qui passe potentiellement dans les bandes riveraines, la provenance de cette eau et sont comportement à travers le sol. J'avais donc à modéliser le ruissellement des eaux de surface à différentes échelles et à réaliser une carte (2D ou 3D selon le logiciel utilisé) de la stratigraphie du sol pour évaluer comment l'eau pourrait traverser les différentes couches de sol. Les interactions avec la nappe phréatique pouvant influencer les données des instruments, il fallait établir la profondeur de la nappe phréatique pour chaque campagne d'échantillonnage.

Finalement, si le temps le permettait et selon la disponibilité des instruments spécialisés nécessaires à la prise des données sur le terrain (perméamètre), nous espérions pouvoir établir un modèle du taux d'infiltration de l'eau dans le sol.

### Objectifs pédagogiques

Au niveau pédagogique, j'avais comme objectif d'explorer de nouveaux logiciels de géomatique, dont des logiciels en diffusion libre (GRASS et QGIS). Je comptais également approfondir mes connaissances dans l'utilisation d'ArcGis d'ESRI, et mettre à profit les notions acquises en cartographie lors de différents cours. À ce point dans ma formation académique, je n'avais pas eu souvent à utiliser des matrices pour effectuer des analyses, j'avais comme objectif d'en explorer les possibilités. J'ai aussi profité de l'occasion pour acquérir une expérience de travail dans le milieu de la recherche universitaire, ce qui me préparera pour mon propre projet de maîtrise.

### Déroulement du stage

Le stage s'est réalisé de la fin du mois d'avril 2014 jusqu'en septembre 2014. D'avril à mai, le stage a été effectué à temps partiel, puis à temps plein à partir du mois de juin. J'ai travaillé au Géolab du département de géographie de l'UQAM, où j'avais accès aux logiciels de géomatique nécessaire à la réalisation des travaux. Lorsque des logiciels spécialisés n'étaient pas nécessaires aux analyses, j'ai travaillé à partir de mon domicile ainsi qu'au bureau de Louise Hénault-Éthier au GEOTOP.

# Rapport des activités

## Présentation des sites d'expérimentation

Les travaux de Louise Hénault-Éthier portent sur deux sites, localisés dans des régions différentes (Boisbriand et St-Roch-de-l'Achigan) et ayant certaines caractéristiques physiques différentes. Les deux sont soumis aux mêmes traitements expérimentaux.

Le cultivar de saule planté dans les bandes riveraines est *Salix Miyabeana SX64*, choisi pour sa forte production de biomasse et sa résistance aux maladies et aux insectes. Dans chaque site, trois traitements sont testés en triplicata, l'ordre des traitements dans une bande variant de manière aléatoire. Chaque traitement occupe une bande de 3 mètres de large pour 17 mètres de longueur. Le contrôle (CX) consiste en une friche de végétation indigène. Deux densités de saules sont expérimentées : 3 rangs, ce qui équivaut à 33 333 tiges/ha (3X) et 5 rangs, ce qui équivaut à 55 556 tiges/ha (5X). (Hénault-Éthier, 2011)

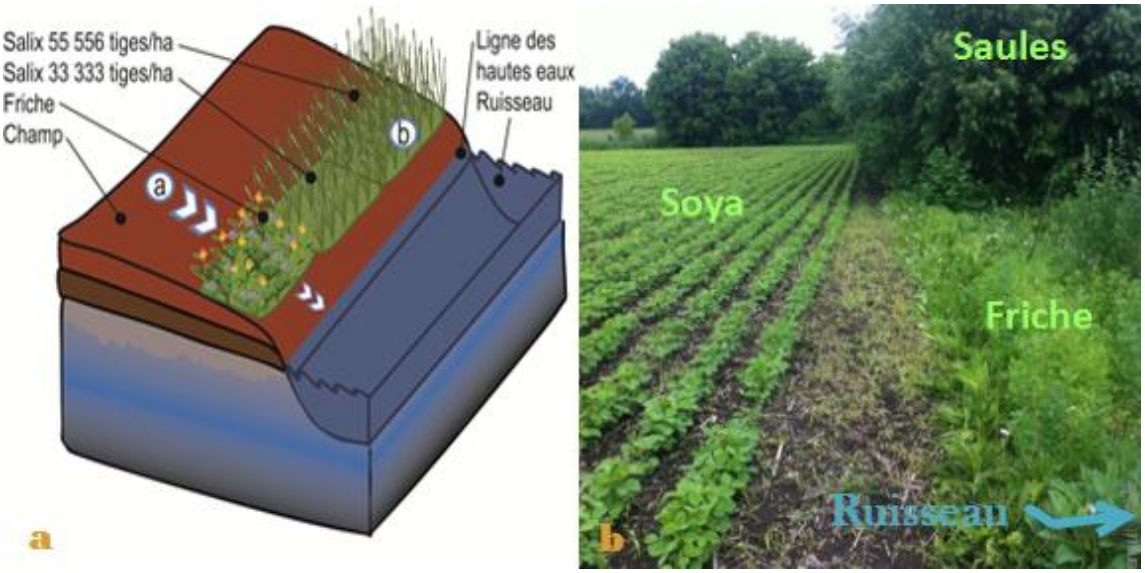



Figure 2. Disposition des traitements dans les bandes riveraines.

*a)* Vue schématique.
*b)* Bande riveraine sur le site de Boisbriand.
*Adapté de Louise Hénault-Éthier (courtoisie)*

Les échantillons d'eau sont prélevés dans des lysimètres enfouis à 35 cm et 70 cm, des collecteurs de surface et des piézomètres enfouis à 2 m dans le sol. Lors de la mise en place des instruments, des carottes de sol ont été prélevées pour établir la stratigraphie. Des carottes de sol forées avec une carotteuse manuelle et un marteau-piqueur ont été prélevées lors des campagnes subséquentes, à la fois pour établir la stratigraphie et pour obtenir des échantillons de sol à des fins d'analyse.

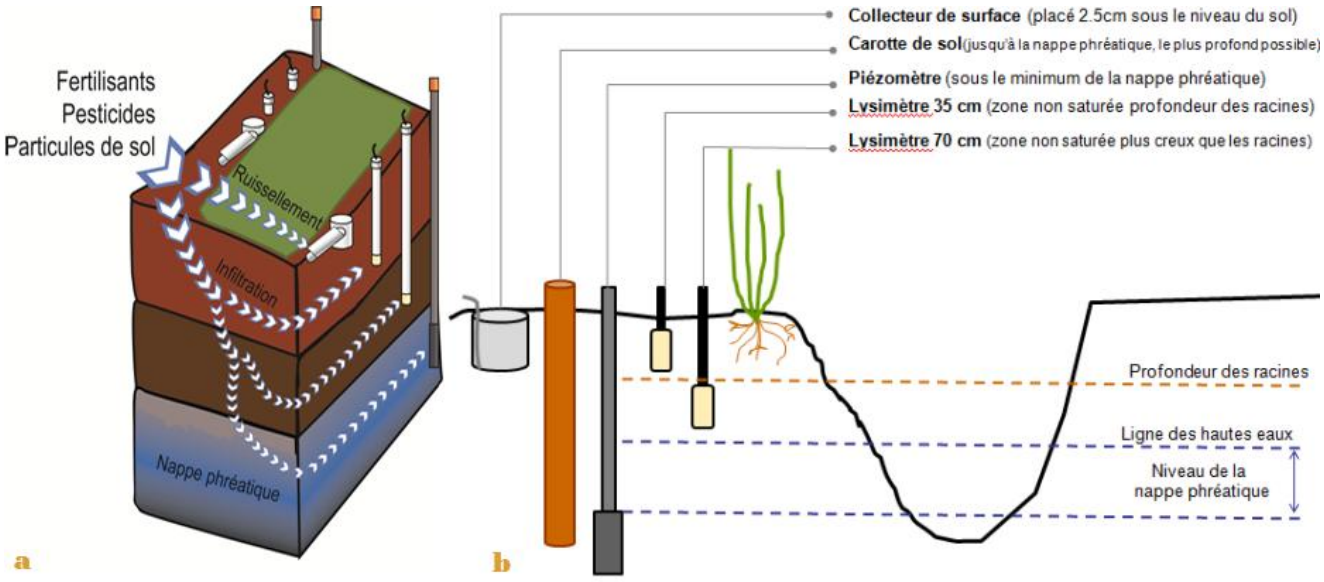



Figure 3. Disposition relative des instruments de mesure dans les bandes riveraines.

a) Position des instruments par rapport à la bande.
b) Coupe transversale montrant les profondeurs relatives des équipements d'échantillonnage.
*Ces schémas ne sont pas à l'échelle ; voir la Figure 12 pour la position réelle des instruments. Adapté de Louise Hénault-Éthier (courtoisie)*

### Site expérimental de Boisbriand

Un des champs agricoles est situé dans la ville de Boisbriand (coordonnées géographiques : N45°36'39,8'' W 73°51'40.3"), son contexte social est celui d'une zone périurbaine marquée par l'étalement urbain. Il est traversé par le ruisseau Dumontier. Celui-ci a été rectifié dans les années 50 (date précise inconnue) et est peu profond ; des travaux de dragage sont d'ailleurs prévus dans les années à venir

pour retirer les sédiments qui s'y sont accumulés. Le ruisseau se jette directement dans la rivière des Mille-Îles, il fait partie du bassin versant de cette dernière.

Le site se trouve dans la formation géologique des Basses-Terres-du-St-Laurent, plus précisément dans la zone de la basse plaine. Le terrain présente un relief vallonné, et on note la présence d'un petit boisé en bordure du ruisseau, dans une zone jugée non cultivable par le fermier. Le sol est majoritairement constitué de terre noire organique. Les cultures en place sont le maïs-grain et le soya en rotation. (Hénault-Éthier, communication personnelle)



Figure 4 Ruisseau Dumontier, site expérimental de Boisbriand, avril 2014. Les saules ont été coupés l'automne précédent. Une résurgence de la nappe phréatique jaillie dans cette partie du ruisseau.

### Site expérimental de St-Roch-de-l'Achigan

Le deuxième site expérimental est situé dans la municipalité de St-Roch-de-l'Achigan (coordonnées géographiques : N45°50'48,3'' W73 ° 36' 16.7"), dans une région rurale dominée par l'agriculture. Le champ est traversé par le ruisseau Moïse-Dupras, qui a été rectifié (probablement au cours des années 1950) et creusé

profondément. Le ruisseau se jette dans la rivière Achigan, qui fait partie du bassin versant de la rivière L'Assomption.

Ce site agricole se trouve également dans les Basses-terres-du-St-Laurent, mais cette fois-ci dans la haute plaine. De relief très plat, la nappe phréatique est profonde et le sol principalement composé de sable loameux. Tout comme à Boisbriand, on y cultive le maïs-grain et le soya en rotation (Hénault-Éthier, communication personnelle).



Figure 5. Ruisseau Moïse-Dupras, site expérimental de St-Roch-de-l'Achigan.

## Sortie sur le terrain

J'ai eu la chance d'effectuer dès le début du stage une campagne d'échantillonnage de deux jours au site de Boisbriand. Cette occasion m'a permis de visiter un des terrains d'expérimentation, ce qui m'a aidé plus tard lorsque j'ai eu à repérer des éléments du paysage sur des photos aériennes. J'ai aussi pu tester par moi-même les différentes méthodes d'échantillonnage utilisées pour générer les données avec lesquelles j'ai eu à travailler.

En suivant la même procédure que lors des campagnes précédentes, nous avons noté la pression de l'air dans chacun des instruments, mesuré le niveau d'eau, le taux d'oxygène dans l'eau, puis nous avons collecté des échantillons d'eau. Cependant, pour la première fois pour le projet, avant d'ouvrir le tube permettant de mesurer la pression nous avons prélevé des échantillons de gaz dans les lysimètres. Il est espéré que ce paramètre supplémentaire aidera à la meilleure compréhension du comportement des contaminants à travers les bandes (par exemple, la dégradation de l'azote).



Figure 6. Prélèvement d'un échantillon d'eau dans un des collecteurs de surface, avril 2014.

Cette expérience m'a permis de me familiariser avec le fonctionnement des instruments et à mieux comprendre ce qui était en jeu lorsque j'ai eu plus tard à effectuer les différentes modélisations.

## Gestion et recherche de données

La première partie de mon stage a consisté à prendre connaissance des données qui étaient disponibles. J'ai pris le temps d'explorer le dossier complet, y compris le rapport de la description physique des sites afin de mieux comprendre à quoi serviraient les analyses que j'aurai à faire au cours de l'été.

### Recherche de données numériques

Il était nécessaire d'obtenir des données numériques supplémentaires pour effectuer diverses opérations de cartographie, ainsi que pour rectifier des photos aériennes. La stagiaire précédente n'avait travaillé qu'avec les données dGPS relevées sur le terrain. Pour ma part, je tenais à obtenir minimalement le réseau routier, les bâtiments et le réseau hydrographique sous format vectoriel. Je voulais également pouvoir travailler avec des MNT qui couvriraient les alentours des champs, là où il n'y avait pas eu de points dGPS relevés, pour avoir un portrait plus complet de la topographie du secteur.

Cette étape s'est avérée plus longue et laborieuse que ce que j'avais évalué de prime abord. Une des difficultés rencontrées était la qualité des données, qui n'était souvent possible à évaluer qu'une fois téléchargées et projetées dans un logiciel SIG. Des descriptions et métadonnées n'étaient généralement pas disponibles. J'ai donc passé un temps considérable à explorer les banques de données gratuites en ligne à la recherche de tout élément pouvant nous être utile. J'ai constaté à ce moment qu'il y avait moins de données disponibles pour les régions rurales que pour les zones urbaines. Par chance, nous avons pu obtenir quelques données d'excellente qualité grâce à des organismes collaborateurs au projet SABRE. Il s'agissait notamment du Conseil des bassins versants des Mille-Iles (COBAMIL), de la municipalité de Boisbriand et de la MRC de Montcalm.

Nous avons aussi fait des recherches à la cartothèque de l'UQAM afin de voir quelles seraient les données numériques auxquelles nous pourrions avoir accès à cet endroit.

Au final, il s'est avéré que la majorité des données que la technicienne en documentation nous a fournies avaient déjà été téléchargées à partir des banques de données en ligne.

Par contre, nous avons passé en revue la banque de photos aériennes relative à nos secteurs d'études. Nous avions déjà en main des photos récentes, mais nous avons pu obtenir des photos anciennes, les plus vieilles datant de 1930 pour Boisbriand et de 1964 pour St-Roch-de-l'Achigan, que nous avons numérisées. L'intérêt de ces photos tient au fait que les ruisseaux des sites d'étude ont été rectifiés et creusés mécaniquement dans le passé. Nous espérions pouvoir les utiliser pour retrouver l'ancien tracé des cours d'eau.

### Révision des données de terrain

Plusieurs données n'avaient pas été révisées ou harmonisées depuis 2011 ou 2012 et nécessitaient une mise à jour. Entre autres, la campagne d'échantillonnage avec le dGPS ne s'est pas réalisée au même moment que les campagnes d'échantillonnage de sol avec les tarières manuelles ou le percuteur. Il fallait donc relier les points d'échantillonnage du sol à leur coordonnée correspondante. Pour retrouver les bonnes références, nous avons dû nous référer aux plans de terrain, à la position des instruments les uns par rapport aux autres et aux connaissances de Louise Hénault-Éthier du terrain. Finalement, nous avons réussi à bien positionner les instruments, ce qui nous été confirmé lorsque nous avons eu accès à des photos aériennes où les instruments étaient visibles et auxquels les points se superposaient correctement.

### Création d'une base de données sur MS Access

Les données étaient réparties dans plusieurs fichiers Excel différents, ce qui rendait le travail d'analyse difficile, surtout lorsqu'il fallait associer une station à des relevés. De plus, lors de la récolte d'échantillons sur le terrain, certains codes d'instruments et de type de sol ont été inversés entre le site de Boisbriand et celui de St-Roch-de-l'Achigan. Les codes pour les types de sol n'étaient pas les mêmes pour les deux

sites, ce qui empêchait une normalisation des données. Pour nous permettre de travailler avec toutes les stations en même temps et pour éviter des erreurs causées par la confusion entre les codes, j'ai uniformisé les codes d'instrument et créé une nouvelle table de référence pour les types de sol. Il a ensuite été possible de créer une base de données en troisième forme normale dans MS Access. Les tables et les liens entre elles sont décrites à l'annexe VIII. Seule la table de la stratigraphie ne respecte pas cette forme et s'inscrit mal dans un schéma logique conventionnel étant donné l'organisation requise pour que les données soient utilisables dans les logiciels spécialisés. J'ai consulté cette base de données régulièrement au cours de mon stage, notamment pour faire des liens entre les tables et retrouver des données qui manquaient dans certains fichiers Excel.

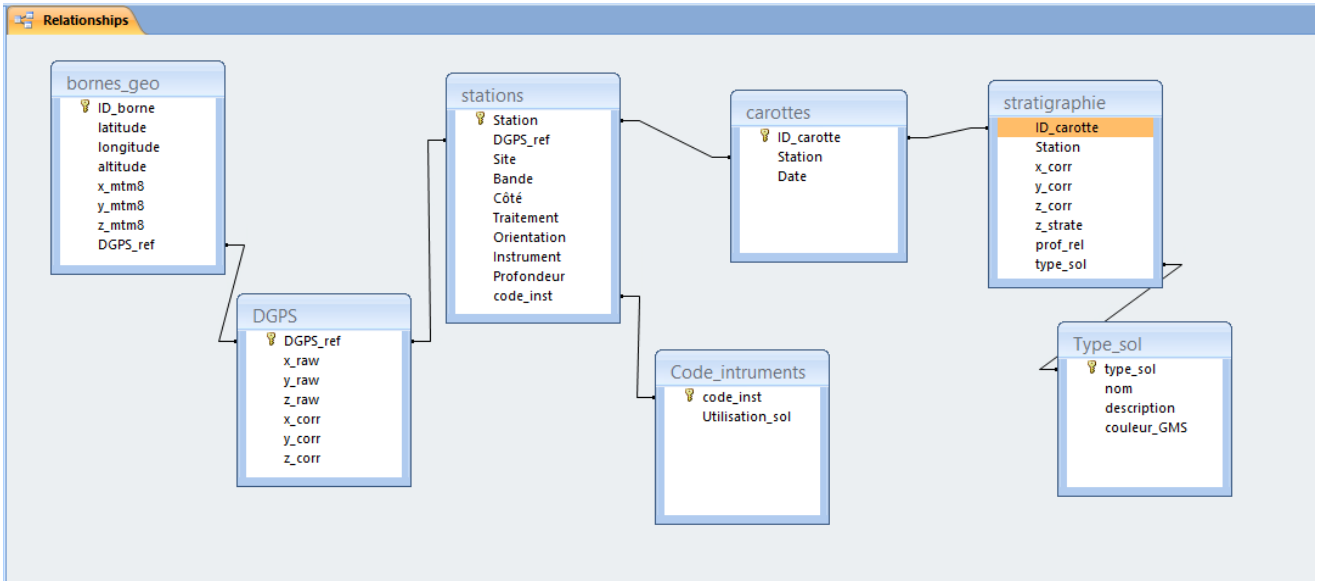



Figure 7 Relations entre les tables de la base de données MS Access du volet géomatique du projet SABRE.

### Correction des données dGPS

Lors de l'installation des instruments, en 2011, un appareil dGPS a été utilisé pour géoréférencer les différentes stations ainsi que pour réaliser un MNT précis de la surface environnant les bandes riveraines. Pour s'assurer d'une précision optimale, des bornes géodésiques ont été relevées pour calibrer les points enregistrés par

l'appareil. La différence entre les enregistrements et les valeurs réelles de position des bornes ont ensuite été appliquées à l'ensemble des points enregistrés par le dGPS sur le terrain. Les mesures prises par l'appareil utilisent le système de référence NAD83 MTM8.

***Site de Boisbriand***

Malgré des recherches actives, une seule borne géodésique a pu être relevée à proximité du site d'étude de Boisbriand. Il s'agit de la borne 86K0145, dont les coordonnées en SCOPQ (NAD83 MTM8) sont (*GEODEQ II, 2001)* :

| X | Y | Z |
|---|---|---|
| 276263,678 | 5052383,475 | 41,16 |

Les valeurs enregistrées par l'appareil DGPS étant de :

| X | Y | Z |
|---|---|---|
| 276263,37 | 5052384,812 | 41,611 |

La correction suivante a été appliquée pour tous les points :

| X | Y | Z |
|---|---|---|
| +0,308 | -1,337 | -0,451 |

***Site de St-Roch-de-l'Achigan***

Cinq bornes géodésiques ont été relevées à proximité du site d'étude de St-Roch-de-l'Achigan. Les documents de références ne donnant que leur position en format géographique (degré décimal), les valeurs ont été converties en NAD83 MTM8 à l'aide du logiciel TRX d'Environnement Canada.

Tableau 1. Positions des bornes géodésiques relevées à St-Roch-de-l'Achigan.

| Borne | Latitude | Longitude | Altitude | X | Y | Z |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 80L899 | 45,84111 | -73,625 | 53,136 | 295090,38 | 5077925,1 | 53,136 |
| 83KZ701 | 45,85575 | -73,60406 | 50,833 | 296719,056 | 5079549,81 | 50,833 |
| 88KSW17 | 45,84108 | -73,62372 | 53,5 | 295189,802 | 5077921,61 | 53,5 |
| 97KSU01 | 45,85556 | -73,605 | - | 296646,031 | 5079528,79 | - |
| 97KSU02 | 45,85556 | -73,60778 | - | 296430,145 | 5079529,08 | - |

Les écarts constatés entre les positions réelles des bornes et celles des relevés DGPS étaient beaucoup trop élevés étant donné la précision habituelle de ce type d'appareil. De plus, une fois appliquées aux points, ces corrections donnaient lieu à des aberrations par rapport à la position connue des appareils de collecte de données. Après vérification avec la carte de référence des bornes géodésiques (Figure 8) (GEODEQ III, 2007), il semblerait que d'autres bornes situées à proximité aient été relevées par erreur plutôt que celles qui étaient planifiées. Seulement deux des points ont donc été retenus pour effectuer les corrections (Figure 9 et Figure 10). Leur valeur telle qu'enregistrée à l'aide du dGPS est :

| Borne | X | Y | Z |
|---|---|---|---|
| 83kz701 | 296715,71 | 5079551,947 | 55,245 |
| 88ksw17 | 295190,417 | 5077922,844 | 58,317 |

La moyenne des deux écarts a été calculée, ce qui a permis d'apporter la correction suivante :

| X | Y | X |
|---|---|---|
| +1,366 | -1,686 | -4,615 |




Figure 8 Détail de la carte de référence des bornes géodésiques pour St-Roch-de-l'Achigan. .(GEODEQ III, 2007)

La position des bornes a été comparée aux projections dans ArcMap pour retrouver celles qui ont été correctement relevées.




Figure 9 Positions relatives des bornes géodésiques à St-Roch-de-l'Achigan, comparées aux points relevés

Seule la borne 88ksw17 a été utilisée pour ce secteur




Figure 10 Deuxième secteur de St-Roch-de-l'Achigan où des bornes géodésiques ont été relevées.

Ici, seule la borne 83kz701 a été utilisée

## Logiciels QGis et GRASS

J'avais comme objectif au départ d'utiliser principalement GRASS et QGIS pour ce projet. Cela m'aurait permis de travailler directement avec les données déjà traitées dans GRASS par Nathalie Wiseman. J'aurais également eu l'occasion d'apprendre à utiliser de nouveaux logiciels de SIG. Dans cette optique, j'ai consacré plusieurs heures dans les premières semaines du stage à effectuer des tutoriels de prise en main de QGIS. J'ai rapidement constaté que celui-ci offre beaucoup de possibilités, semblables à celles d'ArcGIS. J'aime particulièrement les options pour la symbologie et la cartographie.

Cependant, j'ai commencé à rencontrer quelques problèmes quand j'ai constaté que QGIS ne supporte pas les *feature class* d'ESRI. Or j'avais commencé à organiser les données dans des géodatabases, pour pouvoir les utiliser avec l'outil BufferBuilder décrit plus loin. J'ai aussi remarqué que j'avais moins d'options pour la création et la manipulation de matrice que dans ArcGIS. GRASS offre beaucoup d'outils pour les matrices ; cependant, j'aurais quasiment répliqué le travail de Nathalie, ce qui n'aurait pas apporté beaucoup d'informations supplémentaires au projet.

J'ai donc décidé de retourner à ArcGis, pour comparer des résultats obtenus avec deux logiciels différents.

## Cartographie

Un des premiers mandats à réaliser était la production de cartes illustrant différents thèmes du projet SABRE. Les cartes produites pourraient être utilisées dans des publications scientifiques différentes, ou encore servir lors de conférences. Elles se devaient donc d'être facilement maniables par Louise Hénault-Éthier, qui utilise Adobe Illustrator pour créer et modifier les figures qu'elle utilise pour ses présentations. Les cartes ont donc été exportées sous format .ai. C'est également pour cette raison qu'une couche vectorielle a été créée pour chaque type d'instrument

ou segment de route. Ce dédoublement des données n'était pas nécessaire à des fins géomatiques, mais permet une manipulation plus aisée dans Illustrator. De plus, aucune étiquette n'était présente sur les cartes destinées à être publiées. Elles ont été placées par Louise Hénault-Éthier dans la langue appropriée et selon les critères de chaque journal. En fin de compte, l'idée était de donner un maximum de liberté graphique tout en conservant les bonnes références spatiales.

Pour chacune des modélisations ou analyses produites pendant le projet, j'ai exporté des cartes pour que Louise Hénault-Éthier ou d'autres utilisateurs n'ayant pas accès à ArcGIS puissent visualiser les résultats. Comme ces cartes pourraient également être utilisées comme support visuel pour des publications, elles devaient tout de même comporter une présentation convenable.

### Localisation des sites à l'échelle du Québec

Un des projets essentiellement cartographiques était la création d'une carte de localisation des sites d'étude à l'échelle du Québec. Cette carte était destinée à illustrer un article portant sur les plantes indigènes retrouvées dans les friches (traitement de contrôle). On devait y retrouver les éléments suivants :

- Carte du Québec comprenant un encadré de la zone zoomée;
- Sites d'études représentés par des points;
- Les ruisseaux à l'étude et les principales rivières;
- Bassins hydrographiques de niveau 1 des ruisseaux;
- Provinces géologiques;
- Grille de référence pour illustrer la différence de latitude entre les sites.

La Figure 11 présente la carte de localisation réalisée à l'aide d'ArcGIS, avant d'être modifiée par Louise Hénault-Éthier dans Illustrator.

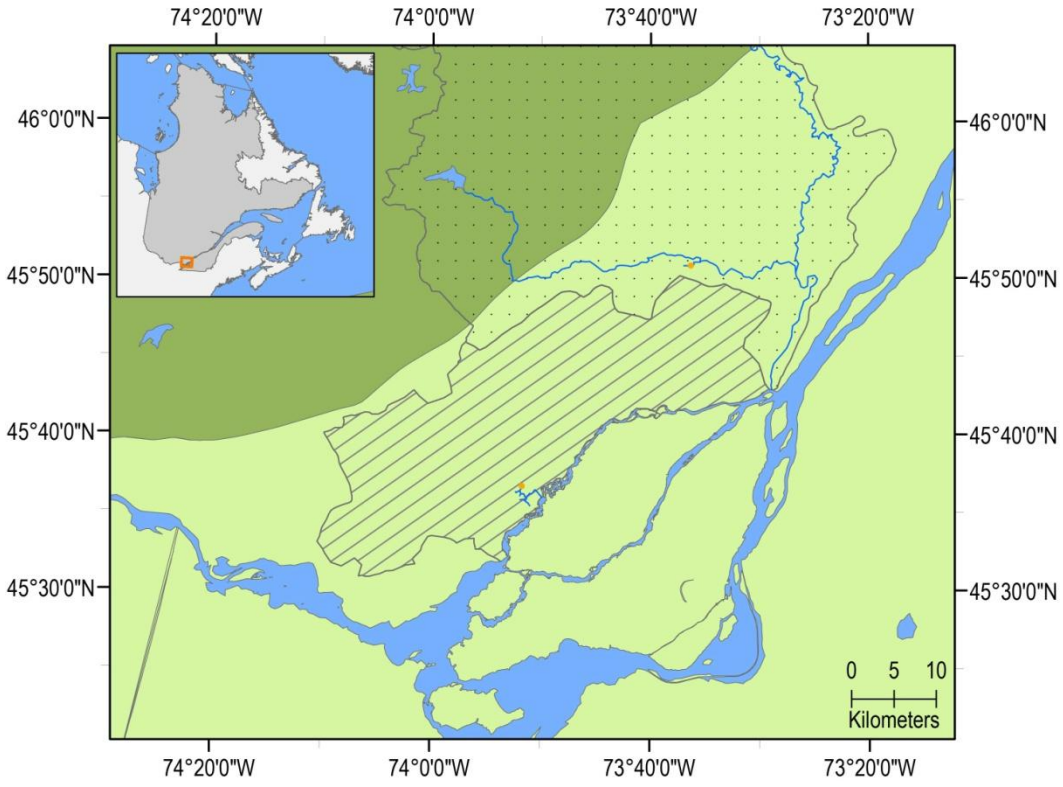



Figure 11 Carte illustrant la localisation des sites d'étude à l'échelle du Québec et de la région du sud du Québec.

### Plan détaillé des sites d'étude

Pour présenter le projet, je devais réaliser un plan, à l'échelle et selon les positions géographiques réelles, des bandes riveraines et de la position des instruments. Cette carte devait comporter minimalement les éléments suivants :

- Lysimètres (35 cm et 70 cm)
- Collecteurs de surface
- Bandes riveraines, séparées par traitement
- Piézomètres
- Ruisseau
- Surface en friche
- Surface cultivée

Autant que possible, j'ai respecté la symbologie préalablement utilisée pour d'autres figures du projet SABRE. J'ai aussi créé des versions différentes de certains éléments, comme les ruisseaux, pour avoir le choix selon le type de présentation recherché. La Figure 12 présente une des versions de ce plan.

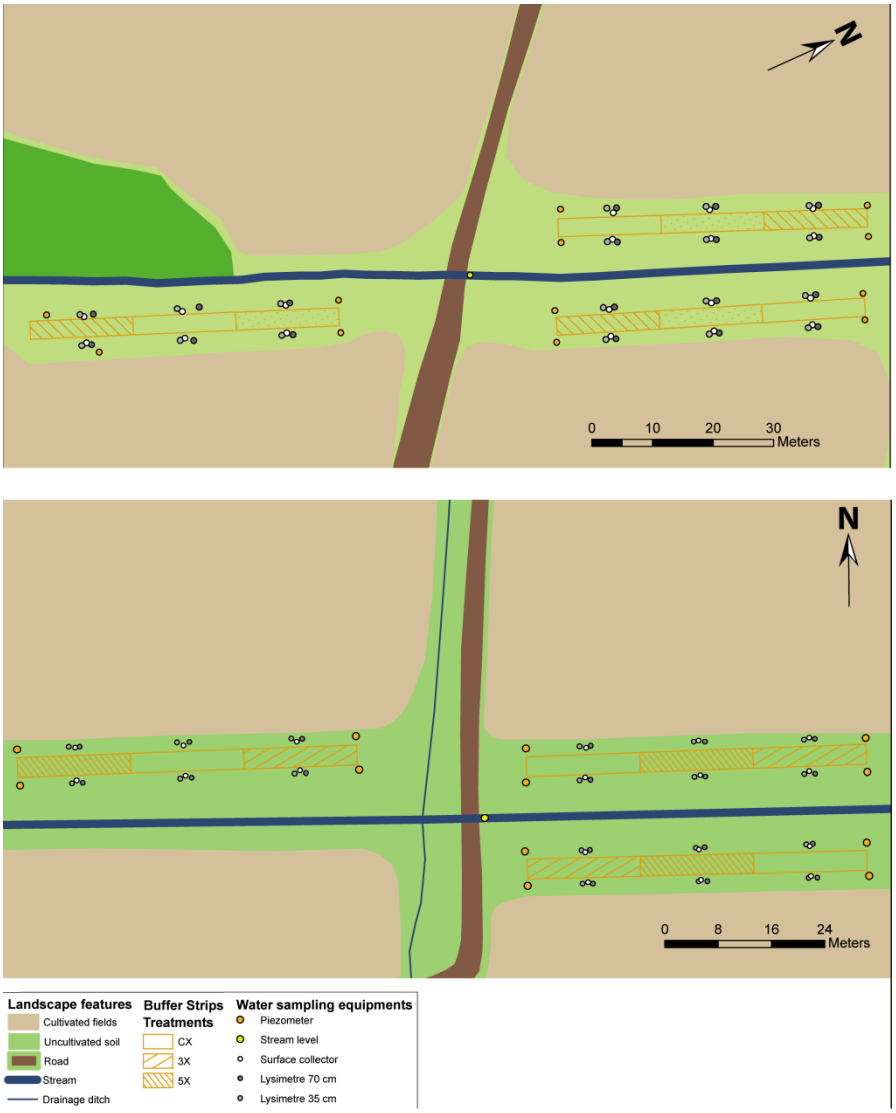



Figure 12 Disposition des instruments de collecte sur les sites de Boisbriand et de St-Roch-de-l'Achigan
*Adapté de Louise Hénault-Éthier*

### Photos aériennes

Nous savons que les ruisseaux des deux sites ont été rectifiés, sans connaitre la date exacte de la modification de leur tracé. Nous supposons que cela remonte aux années 1950, lorsque le gouvernement québécois a subventionné la rectification du tracé des ruisseaux agricoles et mené des campagnes en ce sens pour encourager les cultivateurs à effectuer les travaux (Hénault-Éthier, communication personnelle). Nous avons donc cherché des photos aériennes antérieures aux années 1950 dans le but de retrouver l'ancien tracé des ruisseaux. Cette information pourrait favoriser une meilleure compréhension du terrain et pourrait contribuer à expliquer certains éléments de la stratigraphie (par exemple, des carottes de terre prélevée dans l'ancien lit du ruisseau risquent de présenter un profil différent qu'une carotte prélevée dans des remblais).

Dans le cas de Boisbriand, nous avons réussi à trouver une série de photos datant de 1930. La qualité n'était pas optimale, mais suffisante pour retrouver l'ancien ruisseau et certains éléments du paysage. La plus grande difficulté rencontrée aura été de rectifier correctement la photo, puisque peu d'éléments actuels étaient présents en 1930. Même le tracé de la route a été modifié à certains endroits. En me reportant à des bâtiments agricoles et des tronçons de route, j'ai réussi à obtenir un résultat acceptable.

Nous avons pu tirer plusieurs constatations en comparant les tracés réalisés sur la photo de 1930 et la photo de 2011. Sur les photos récentes, on peut voir des accumulations d'eau au printemps dans le champ, qui correspondent avec les limites d'un ancien boisé. Ces zones plus basses sont d'ailleurs bien visibles sur les MNT. Aussi, à l'endroit où se trouve actuellement la plus forte accumulation, on semble voir un milieu humide sur la photo ancienne. Des analyses ont d'ailleurs permis de confirmer la présence de graines de plantes exclusivement aquatiques dans ces régions (communication personnelle, Louise Hénault-Ethier). Le ruisseau passait à travers le boisé, en oblique par rapport au tracé actuel ; quelques instruments de

mesure se trouvent sur l'ancien tracé, ce qui sera à prendre en compte dans les analyses de sol.

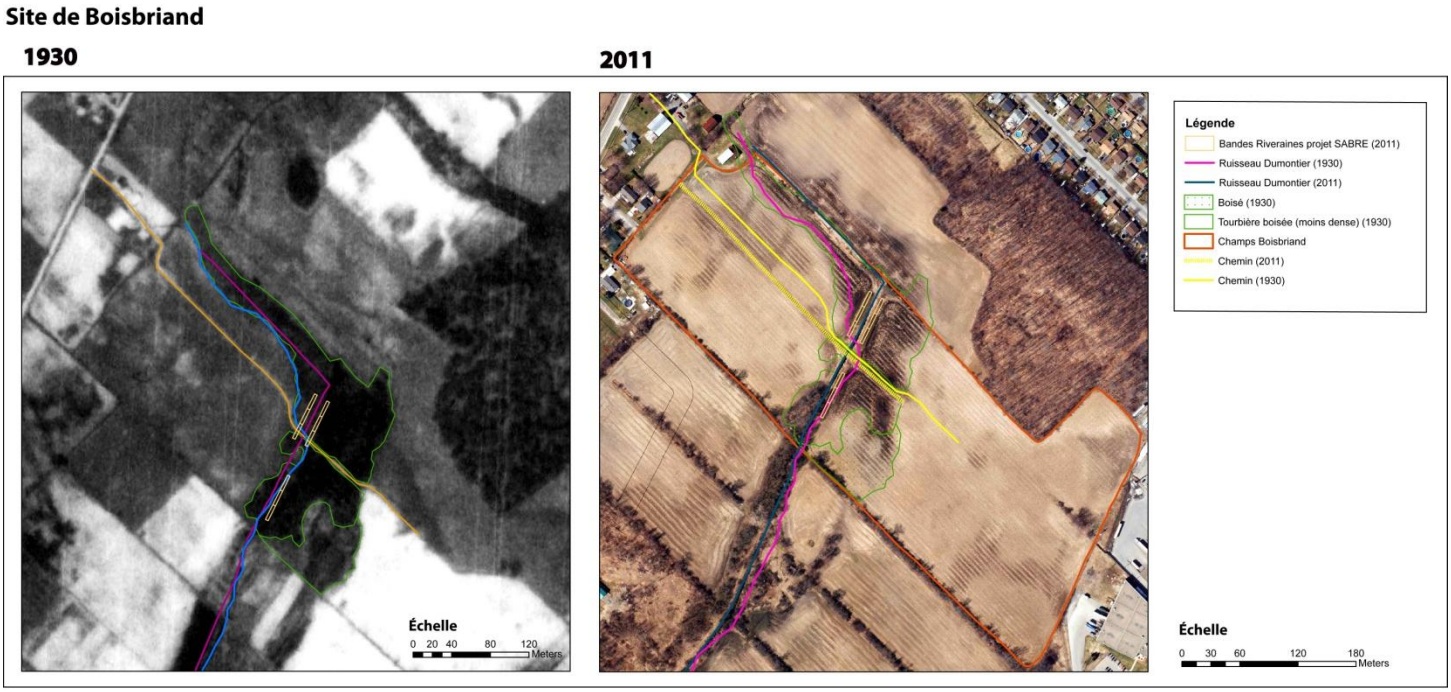



Figure 13 Comparaison du tracé du ruisseau Dumontier en 1930 et en 2011.
Le contour des zones boisées a également été tracé, ainsi que l'emplacement de l'ancien chemin agricole.

En ce qui concerne St-Roch-de-l'Achigan, les photos les plus vieilles que nous ayons pu trouver remontent à 1964. À ce moment, le ruisseau Moïse-Dupras avait déjà été rectifié. J'ai tout de même orthorectifié la photo dans le cas où nous aurions pu trouver d'autres informations valables. Nous avons pu constater qu'un ruisseau adjacent, le ruisseau Des-Anges, suivait son cours original au moment de la prise de la photo alors qu'en ce moment il suit un tracé rectiligne fort différent. On peut donc supposer que le ruisseau Moïse-Dupras avait auparavant lui aussi plusieurs méandres, à l'instar des cours d'eau de la région.

## Stratigraphie

Au cours des campagnes d'échantillonnage du projet SABRE, des carottes de sol ont été prélevées et les différentes couches de sol qu'elles contenaient ont été identifiées et mesurées. À partir de ces carottes, il devenait possible d'établir les couches stratigraphiques du terrain. Le but de cet exercice est d'étudier les déplacements de l'eau dans le sol, et leur influence sur la captation par les instruments. Sur les recommandations de la professeure d'hydrogéologie Marie Laroque, membre du comité de thèse de Louise Hénault-Ethier, nous avons décidé d'utiliser le logiciel *Groundwater Modelling System* d'Aquaveo (version 9.2), plus communément connu sous l'acronyme GMS. Ce logiciel permet à la fois d'établir une stratigraphie du sol et d'effectuer des simulations hydrologiques.

### Correction des données et exportation

Comme précédemment mentionné, la référence aux points dGPS correspondant à leur emplacement n'était pas harmonisée pour plusieurs carottes de sol. Une fois ces données corrigées, il restait plusieurs modifications à apporter à la structure du fichier Excel. Le format était adapté à celui requis pour utiliser les données dans le logiciel *Leapfrog Hydro*, qui avait été sélectionné au départ. J'ai donc changé l'organisation des couches de sol et du matériel associé. Brièvement, au lieu d'avoir des informations sur les carottes (profondeur, inclinaison) et la stratigraphie (matériel, épaisseurs relatives) dans trois pages différentes (tel que requis dans *Leapfrog*), il s'agissait de combiner toutes les informations dans un seul chiffrier et de donner la profondeur absolue (z) du début et de la fin de chaque strate, en dupliquant la strate inférieure (pour *GMS*). Le tableau résultant a été exporté en format *text file.*

### Modélisation avec GMS

Je m'étais familiarisée avec la réalisation d'une stratigraphie dans GMS en suivant plusieurs tutoriels fournis avec le logiciel. J'ai importé les données du projet en suivant les mêmes étapes et j'ai construit une première modélisation pour le site de

Boisbriand (Figure 14). La stratigraphie ainsi obtenue doit être retravaillée manuellement pour corriger les strates produites automatiquement par le logiciel, et harmoniser la stratigraphie entre les différentes carottes, selon des connaissances du terrain. Cependant, ce projet a été suspendu faute de temps disponible. Il a été convenu que je consacre plus de temps aux opérations strictement géomatiques, puisque Louise Hénault-Éthier avait la possibilité de travailler par elle-même avec GMS. J'aurais repris le travail commencé à la fin du stage si j'avais encore du temps libre, ce qui ne s'est pas réalisé.

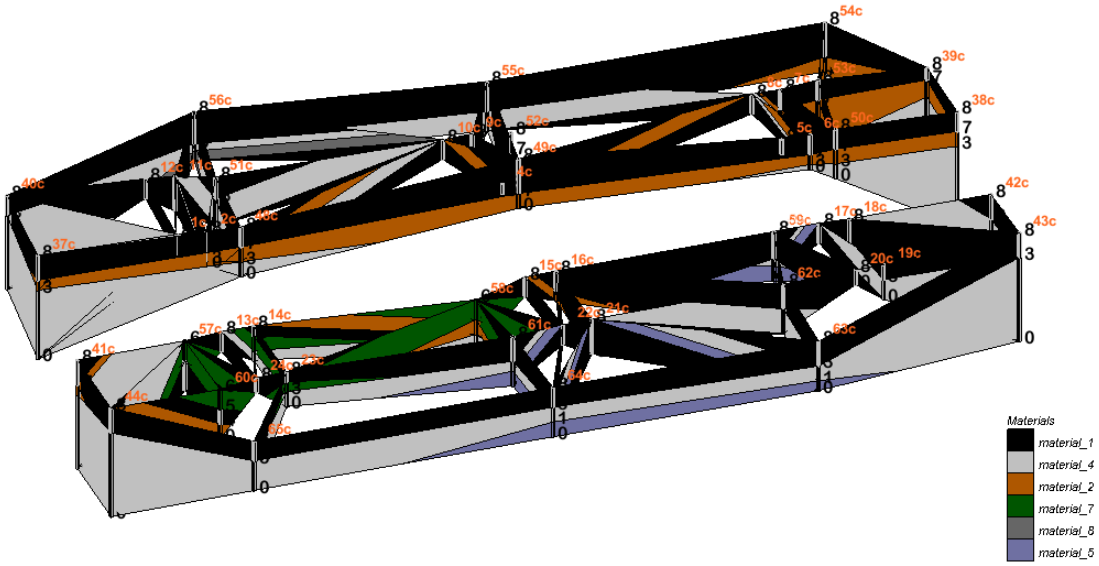



Figure 14 Stratigraphie des secteurs NE et SE à Boisbriand réalisée à l'aide de GMS.

## Modèles de terrain

Un modèle numérique de terrain avait été préalablement réalisé pour chaque site par Nathalie, mais à une seule échelle. De plus, les données n'avaient pas été calibrées à l'aide des bornes géodésiques. J'ai donc créé de nouveaux modèles à différentes échelles et niveau de précision. J'ai utilisé différents paramètres puis j'ai comparé les résultats obtenus avec les photos aériennes (surtout à Boisbriand, où le relief est visible) et conservé ceux qui donnaient la meilleure correspondance. Louise Hénault-

Éthier a ensuite confirmé avec les observations effectuées sur le terrain. Ces MNT ont pour but d'illustrer la topographie du terrain pour différentes présentations et ils serviront aussi à effectuer des analyses hydrologiques et à la création de strates de sol dans le logiciel GMS.

### Méthodologie

Toutes les matrices (pour les deux sites) ont été créées en utilisant la fonction « Topo to raster » dans ArcGIS. Cette fonction en particulier a été choisie, car c'est celle qui donnait une surface la plus appropriée pour effectuer des analyses hydrologiques, d'après la documentation fournie par ESRI.

Des matrices d'élévation au 1 :50 000 étaient disponibles pour les deux sites. Je n'ai pas voulu faire une mosaïque et les greffer à une matrice obtenue seulement à partir des points dGPS, par crainte d'une mauvaise superposition et de perte de précision. J'ai donc transformé ces matrices en données vectorielles de type « contour » (lignes d'élévation). J'ai utilisé la fonction « Contour (3D analyst) » dans ArcGIS et entré en paramètre 1 mètre de distance entre les isolignes.

Plusieurs jeux de données ont été utilisés pour augmenter la précision des résultats. Les matrices n'ont pas toutes la même résolution, et celle-ci varie selon la complexité des processus à effectuer par l'ordinateur. Pour chacune, la résolution est au maximum des possibilités des ordinateurs utilisés, soit ceux du GEOLAB de l'UQAM (les plus puissants disponibles).

## Hydrologie

Un des points clés pour déterminer l'efficacité des bandes riveraines et leur rôle dans les variations des niveaux de polluants observés entre les instruments est d'évaluer la quantité et la trajectoire de l'eau qui traverse les bandes. Par exemple, si l'eau en provenance du champ contourne la bande à cause d'un dénivelé du terrain et se jette

dans le ruisseau à un endroit qui ne fait pas partie de la zone suivie, il serait impossible de savoir si les bandes auraient pu capter des polluants ou non. Le simple couplage géométrique entre des instruments 'avant' la bande et 'après' la bande n'était pas nécessairement valide, comme dans d'autres systèmes où les différentes parcelles expérimentales sont isolées hydrologiquement par des barrières physiques. Vu le milieu 'non contrôlé' hydrologiquement du projet SABRE, ceci devait être confirmé.

Une première modélisation a déjà été effectuée par Nathalie Wiseman en 2011 à l'aide du logiciel GRASS. À certains endroits, on pouvait remarquer que les écoulements semblaient contourner les bandes riveraines, notamment dans le champ sud-ouest à Boisbriand. En utilisant les nouveaux MNT, corrigés et plus précis, j'ai refait une nouvelle modélisation des écoulements de surface. Dans le souci de dupliquer (et ainsi valider ou non) les résultats préliminaires à l'aide d'un logiciel différent, j'ai utilisé l'extension ArcHydro (version bêta 2.0) d'ArcGIS, spécialisé dans l'analyse des ressources en eau.

### Modélisation

Pour les deux sites le ruisseau a été creusé mécaniquement, il n'est donc pas une entité naturelle du terrain (il n'est pas inhérent au relief). Il est tout de même essentiel de pouvoir le placer sur le MNT à l'endroit où il se trouve réellement, puisque l'eau s'y écoule. La méthode AGREE (Hellweger, 1997) a été développée pour tenir compte de ce type de cours d'eau et est implantée dans ArcHydro. Je l'ai donc utilisée pour remanier les MNT originaux.

Pour le site de Boisbriand, j'ai utilisé la fonction *"DEM reconditioning*" d'ArcHydro pour créer un MNT selon la méthode AGREE; j'y ai placé le ruisseau Dumontier (paramètres en annexe VI).

Pour le site de St-Roch-de-l'Achigan, j'ai utilisé la même fonction et j'ai d'abord placé le ruisseau Moïse-Dupras. Ensuite, j'ai utilisé le MNT résultant et je l'ai remanié pour y placer les fossés de drainages qui bordent les champs.

Pour éviter que des dépressions mineures créées par l'interpolation des points ne causent des distorsions dans les patrons de drainage, la fonction *"Fill sink*" est utilisée pour les remplir et lisser la surface. Le MNT en entrée est celui produit par le reconditionnement avec la méthode AGREE.

Le MNT rempli est utilisé ensuite comme entrée dans le *workflow* intégré aux outils ArcHydro : *Basic Dendritic Terrain Processing* (Figure 15). Le nombre de cellules nécessaires à la définition du ruissellement a été ajusté à l'étendue de chaque projet, après quelques essais pour déterminer celui qui donnait le résultat le plus conforme à ce qui a été observé sur le terrain.

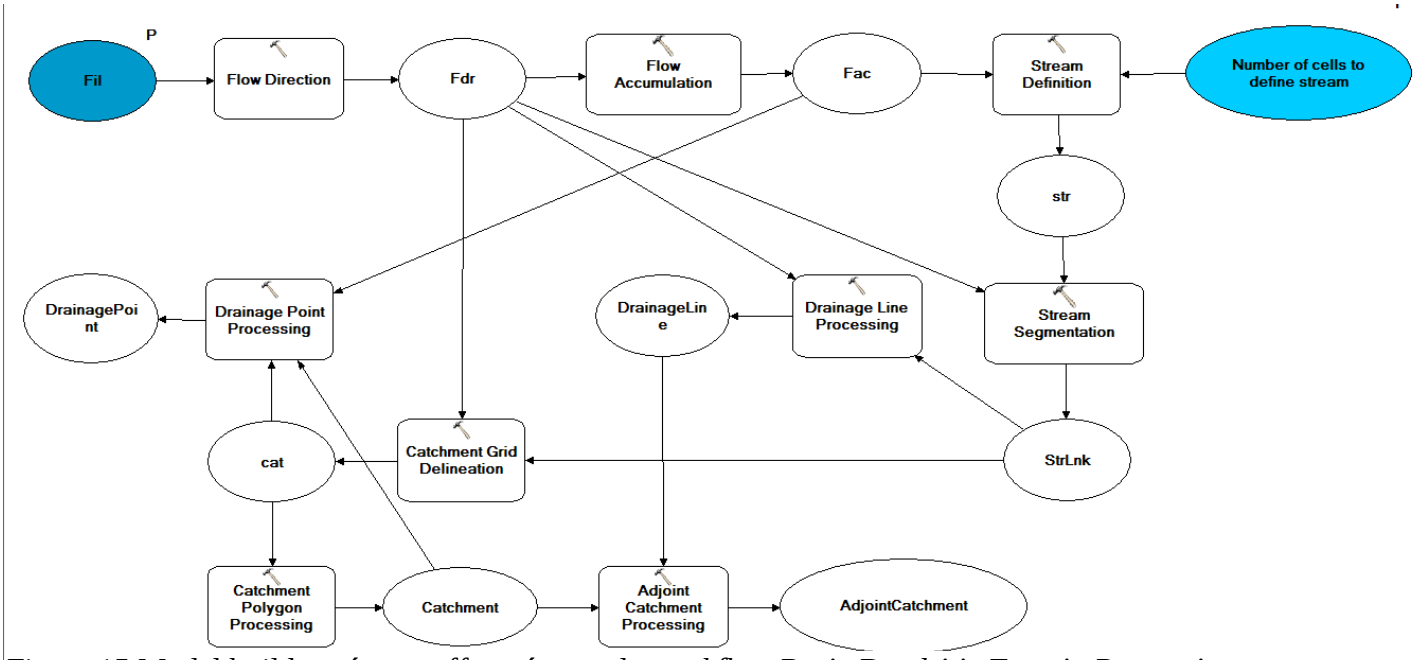



Figure 15 Model builder : étapes effectuées par le *workflow Basic Dendritic Terrain Processing*. *Source : ESRI (2011)*

En sortie, nous obtenons les éléments suivants, tel qu'illustrés dans l'exemple présenté à la Figure ***17*** :

- Les lignes de drainage (*drainage line*): ce sont les chemins préférentiels suivis par l'eau tels qu'analysés par l'outil. Ces lignes devraient correspondre à des écoulements sur le terrain.
- Les points de drainage (*catchment point*): ce sont les points qui marquent les intersections entre les lignes de drainage.
- Les bassins de drainage (*catchment*) : ce sont les surfaces drainées par chaque petit « bras » des lignes de drainage. À chaque bassin correspond un point de drainage, qui est situé à l'intersection des bras des ruisseaux
- Les bassins adjoints (*Adjoint catchment* ) : ce sont des bassins plus grands, qui correspondent à la surface drainée par des « bras » plus important. Leurs limites correspondent à celles des bassins de drainage (il n'y a pas de superposition sur les bassins de drainage d'autres bras de ruissellement.)

Pour nos analyses, nous avions principalement besoin des lignes de drainage pour observer de quelle façon l'eau s'écoule à travers les bandes. Un exemple des écoulements préférentiel pour Boisbriand est présenté à la Figure 16.

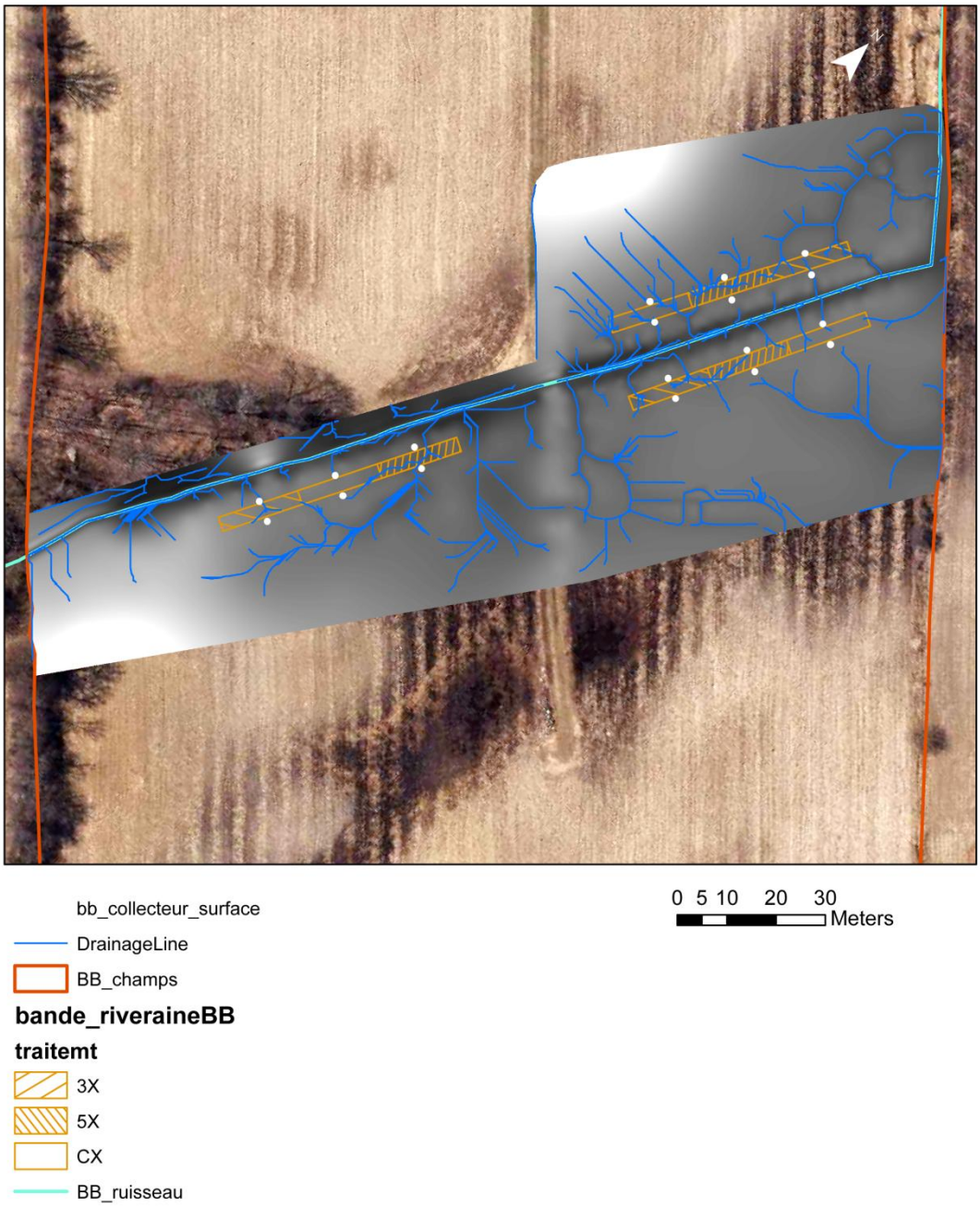



Figure 16 Modélisation du ruissellement de surface pour le site de Boisbriand.

### Détermination de la surface drainée pour les collecteurs de surface

Comme les collecteurs de surface ne sont pas placés dans des dépressions du terrain, l'eau ne s'y écoule pas naturellement. Par contre, comme les capteurs sont situés

hors du sol, une partie de l'eau qui passe est accumulée. Le but ici est d'avoir une idée de la surface de terrain alimentant chacune des chaudières. J'ai cherché des méthodes permettant un calcul direct, mais je n'ai pas trouvé exactement ce qu'on cherchait, du moins avec les logiciels à notre disposition (ArcGis, GRASS). Il s'agira donc plutôt d'une estimation basée sur la taille du bassin de drainage dans lequel le collecteur se trouve. Les bassins sont ceux obtenus selon les procédures expliquées plus haut.

### *Méthode 1 (Boisbriand et St-Roch-de-l'Achigan)*

Les bassins sont choisis avec une sélection spatiale basée sur la position des instruments. La surface de chaque bassin (en bleu sur la Figure 17) peut donner une comparaison de l'eau potentiellement reçue par chaque collecteur.

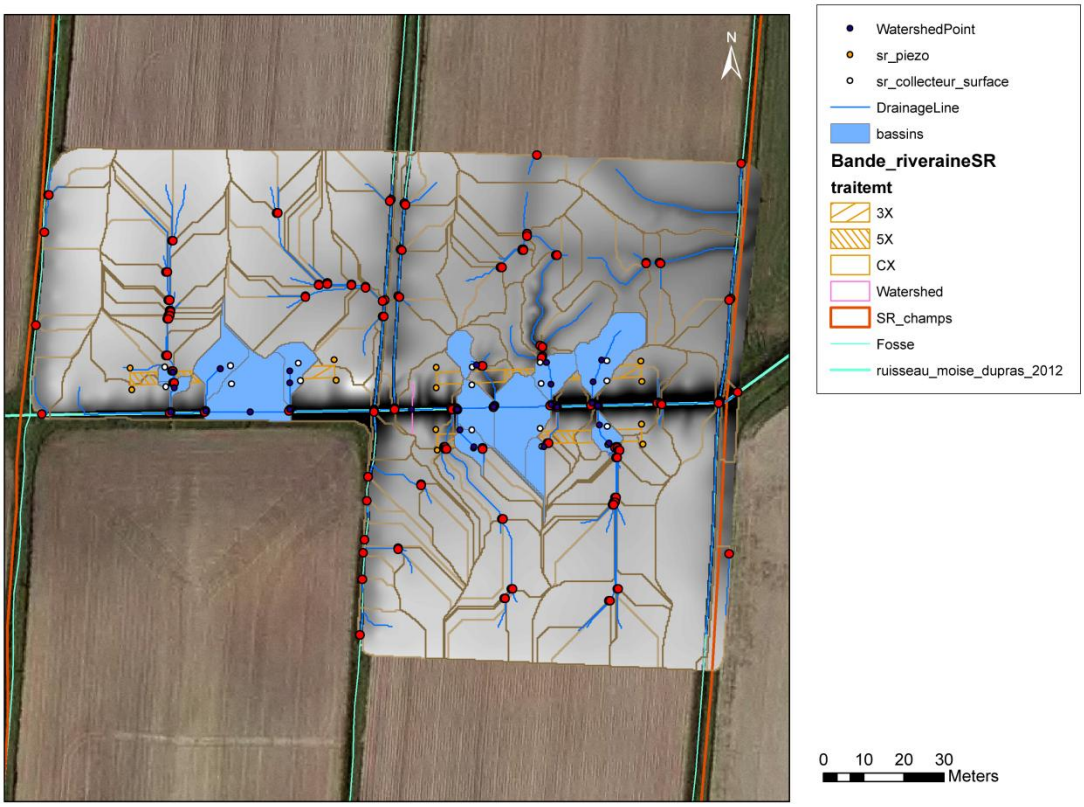



Figure 17 Analyse hydrologique générée à l'aide d'ArcHydro pour le site de St-Roch-de-l'Achigan.

### *Méthode 2 (Boisbriand et St-Roch-de-l'Achigan)*

Lorsqu'un bras de ruissellement est situé à proximité d'un collecteur, un *point de drainage* est créé sur le ruissellement, le plus près possible de l'instrument. Le bassin de drainage correspondant est automatiquement généré. Cette surface est généralement plus petite que celle du bassin entier et pourrait donner une meilleure idée du drainage. Par contre, son exactitude varie puisque la distance entre le collecteur et le bras de ruissellement varie d'une station à l'autre.

### *Méthode 3 (Boisbriand seulement)*

En comparant les bassins obtenus avec le MNT des rives et celui des points dGPS, certains bassins obtenus selon le drainage des rives semblaient alimentés par des bassins plus grands. Afin de vérifier si cet apport aurait de l'influence sur la quantité d'eau collectée, j'ai sélectionné les plus grands bassins qui touchaient les bassins dans lesquels les collecteurs se trouvent. J'ai ensuite noté la somme de leurs surfaces.

### *Méthode 4 (St-Roch-de-l'Achigan seulement)*

Le fermier propriétaire des champs a procédé à un enrochement des berges du ruisseau là où l'écoulement était le plus fort pour limiter l'érosion (Figure **18**). Il s'avère qu'il y a un enrochement (donc un écoulement majeur) pour chacune des bandes, ce qui peut donner une idée de la surface drainée pour chacune. J'ai donc placé un point de drainage à ces endroits et obtenu le bassin de drainage. Chaque groupe d'instruments (côté champs et côté ruisseau) est dans le même bassin pour cette donnée.



Figure 18 Enrochement à St-Roch-de-l'Achigan dirigeant l'écoulement de l'eau vers le ruisseau.

## Résultats

Les lignes de drainage obtenues correspondent de manière générale aux observations relevées sur le terrain, sauf dans quelques zones des champs qui sont éloignées des ruisseaux. Ces surfaces sont moins primordiales pour les analyses vu leur distance des bandes riveraines, et ce sont aussi des secteurs où il n'y avait pas de relevé effectué à l'aide du dGPS, donc une moins grande précision. Les modèles ont donc été jugés adéquats pour illustrer le ruissellement dans les bandes riveraines.

Par contre, les surfaces de drainage obtenues pour les collecteurs de surface ne démontrent pas une correspondance avec les volumes d'eau récoltés pour chaque station. Ces deux paramètres devraient logiquement démontrer la même variabilité d'une station de collecte à l'autre, ce qui n'est pas le cas d'après les calculs effectués par Louise Hénault-Éthier. Ces données sont donc à considérer avec beaucoup de précautions, puisqu'il n'est pas établi si c'est la méthode de calcul mentionnée précédemment qui est déficiente, ou si les collecteurs de terrain n'avaient pas tous la

même efficacité (par exemple, à cause de perturbations locales et ponctuelles causées par le ruissellement abondant ou la faune).

## Calcul des pentes

Pour les analyses statistiques, un paramètre que Louise Hénault-Éthier voudrait étudier est l'influence de la pente du terrain sur les résultats obtenus grâce aux lysimètres. L'objectif était de calculer la pente en amont de chaque instrument (lysimètres et collecteurs de surface) par rapport à l'instrument précédent ou à un point situé à équidistance.

### Méthodologie

Pour les instruments situés côté champs, comme il n'y a pas d'autres instruments situés plus en amont, des points ont été créés vis-à –vis de chaque instrument en respectant une distance de 5 mètres et un angle de 90° par rapport au cours d'eau (Figure 19).

Ces points se sont fait attribuer une valeur d'élévation en utilisant la fonction ArcGis « Extract value to point ». Le MNT d'élévation utilisé est celui basé uniquement sur les points dGPS, puisque c'est le plus précis à cette échelle. La distance linéaire entre les instruments et les points est relevée avec l'outil « Measure» d'ArcGis.

Chaque instrument n'était identifié que par son numéro de borne dGPS dans la base de données géomatique ; la référence à la bonne station d'échantillonnage a été vérifiée en utilisant la base de données Access du projet.

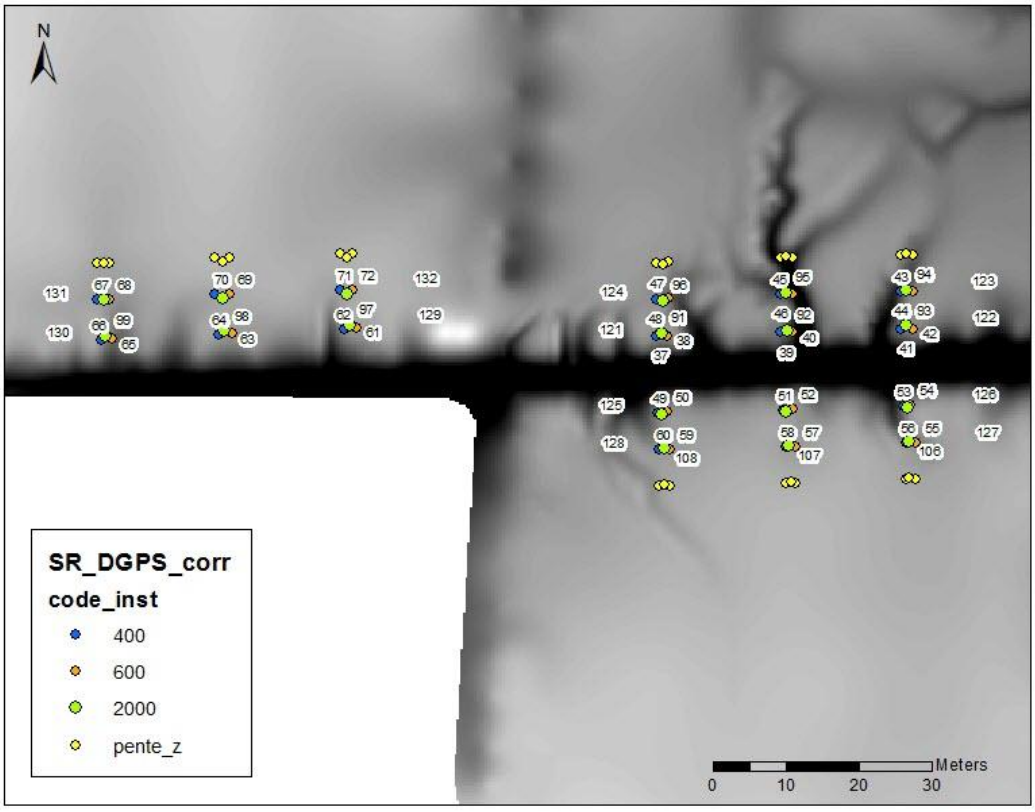



Figure 19 Calcul des pentes pour le site expérimental de St-Roch-de-l'Achigan. Les points "pente_z" ont été créés pour servir de référence en amont.

### Calculs effectués dans Microsoft Excel

Les données obtenues à l'aide d'ArcGIS ont été traitées avec le logiciel Microsoft Excel. Nous voulions avoir la pente sous plusieurs formes afin de pouvoir comparer rapidement avec les différents types de données disponibles dans la littérature. Pour obtenir la pente sous sa forme la plus simple (m), j'ai divisé la variation en z par la variation en x pour chaque point. Pour obtenir la pente en degrés, j'ai utilisé la fonction arctan (m). Par la suite, pour obtenir la pente en pourcentage j'ai multiplié le résultat précédant par 100.

## Résultats

La classification des pentes obtenues, en plus d'ajouter une variante aux statistiques, a permis de dresser un portrait des pentes en bordure du ruisseau. En nous basant sur les classes de pente du *Guide de classification des sols du Canada*, illustrées dans le tableau de l'annexe VII, nous pouvons constater que malgré des différences évidentes du terrain sur l'ensemble du champ, à l'intérieur des bandes riveraines les reliefs se ressemblent entre les deux sites (Figure 20). Nous avons remarqué que pour un groupe d'instruments, les calculs indiquent une pente beaucoup plus abrupte que ce qui a été observé sur le terrain. Il s'avère que les points créés pour les calculs en amont arrivent directement dans une dépression du terrain créée par le ruissellement, qui n'est pas inhérente à l'ensemble de la surface. Ces pentes seront conservées, mais comporteront une note explicative pour justifier la disparité avec le reste du terrain.

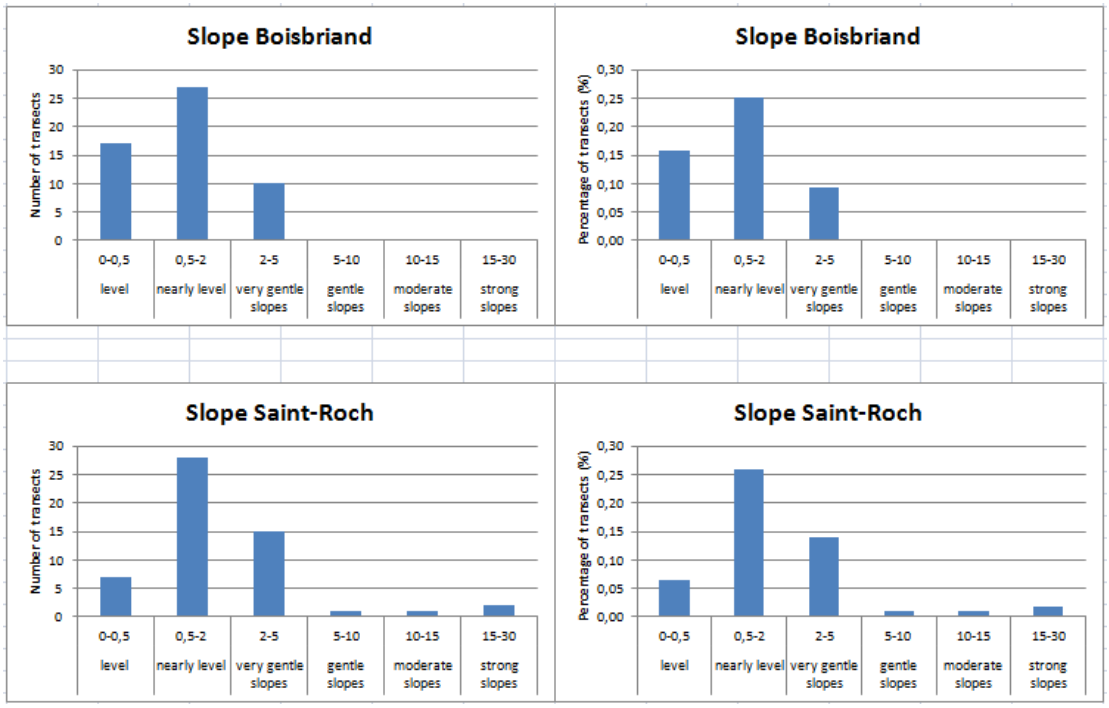



Figure 20 Distribution des pentes pour les sites de Boisbriand et St-Roch-de-l'Achigan, d'après le *Système canadien de classification des sols* (1998).

## Nappes phréatiques

Lors de chacune des campagnes d'échantillonnage, le niveau d'eau dans les piézomètres a été mesuré. Un des objectifs de cette mesure était de pouvoir construire une carte piézométrique pour évaluer la hauteur de la nappe phréatique sous les bandes riveraines à chaque campagne d'échantillonnage. Ceci d'évaluer ensuite la possibilité que certains instruments aient touché la nappe phréatique et capté l'eau de cette dernière. Dans ce cas, les données obtenues dans les lysimètres « inondés » devront être interprétées avec prudence, puisque l'eau de la nappe pourrait diluer celle en provenance du champ.

La variabilité du niveau des nappes phréatiques a été évaluée de la même manière sur les sites d'étude de Boisbriand et de St-Roch-de-l'Achigan. Les différentes étapes sont donc les mêmes

### Remaniements des données

Les données des piézomètres étaient regroupées dans un même tableau MS Excel. Leur organisation ne permettait pas une division temporelle adéquate et les références spatiales étaient absentes. J'ai donc dû procéder à quelques ajustements avant l'importation des tables dans ArcGIS.

- Pour chaque station, les données de positions géographiques des piézomètres relevées à l'aide du dGPS ont été ajoutées.
- Les données de variation du niveau de l'eau dans les piézomètres ont ensuite été divisées par date d'échantillonnage (chaque date se trouve sur une feuille séparée dans Excel).
- Pour chaque station, la variation relative a été soustraite à l'altitude du terrain pour obtenir l'altitude de la surface de la nappe.

### Traitement dans ArcGis

- Pour chaque date d'échantillonnage, une couche vectorielle de points a été créée dans ArcGis (*Create shapefile from XY table*). Chaque jeu de données est nommé selon la date, avec le préfixe « n_ »
- La surface de la nappe est ensuite évaluée en utilisant la fonction « *Topo to raster* ». La surface est délimitée par le même polygone qui représentait les rives dans l'analyse hydrologique, et qui contient les zones de traitement. La matrice d'élévation résultante est nommée selon la date, avec le préfixe « z_ ».
- Cette matrice est ensuite utilisée pour obtenir l'élévation (interpolée) du niveau de la nappe phréatique pour chacun des lysimètres. Les positions des appareils sont représentées par une couche vectorielle de points (encore une fois, ce sont les données obtenues par DGPS). En utilisant la fonction « *Extract value to point* », la valeur d'élévation de la matrice est ajoutée à une nouvelle couche de points qui contient également toutes les informations qui existaient pour la couche représentant les lysimètres. Chaque nouveau jeu de données est nommé selon la date, avec le préfixe « L_ ».
- La table d'attribut de chaque couche « L_ date » est ensuite exportée sous format *dbase*.

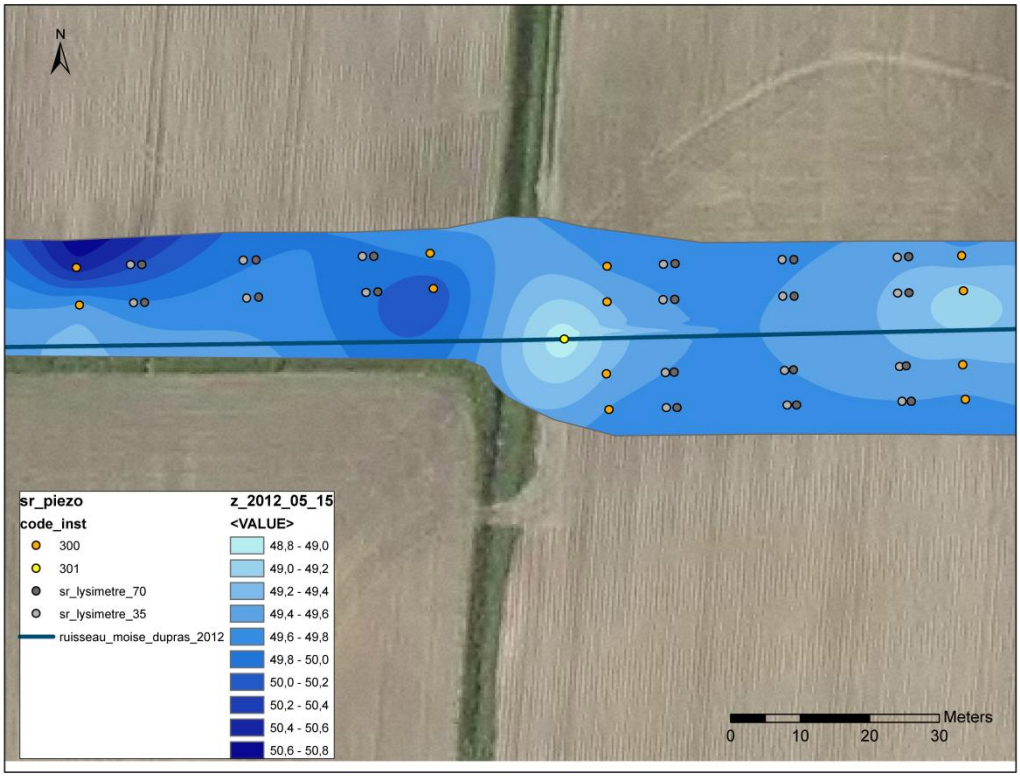



Figure 21 Exemple de modélisation de nappe phréatique créée à l'aide d'ArcMap.

L'exemple est pour le site de St-Roch-de-l'Achigan, pour la campagne d'échantillonnage du 15 avril 2012.

### Importation des données géomatiques dans MS Excel

- Chaque table en format *dbase* est ouverte dans MS Excel. La mise en forme et le format des cellules sont changés pour faciliter la lecture.
- Les données sont enregistrées dans le même fichier. Chaque date d'échantillonnage se trouve sur une feuille de calcul séparée.
- La colonne « z pied » est ajoutée. Celle-ci indique l'altitude du pied de chaque instrument (qui capte l'eau) ; la longueur de l'appareil est soustraite à l'altitude au niveau du sol de chaque lysimètre.
- Dans la colonne « dist nappe », on retrouve la distance entre l'altitude de la nappe phréatique et celle du pied de l'appareil. Une mesure positive indique

que la nappe se trouve sous l'appareil ; une mesure négative indique que la nappe est plus haute que le pied du lysimètre.

Nous avons pu constater après ces calculs que pour quelques dates d'échantillonnage, plusieurs lysimètres auraient pu toucher la nappe phréatique. Comme il s'agit de résultats issus d'une interpolation, ils seront analysés avec précaution, mais cela pourrait donner des pistes d'explication si certaines mesures sont aberrantes pour ces dates.

Lorsque toute la séquence des cartes du niveau des nappes phréatiques a été assemblée (figure X), des anomalies ont pu être décelées. Par exemple, certains piézomètres moins profonds semblent gonfler la profondeur de la nappe à certains moments. Aussi, une zone de résurgence visible sur la nappe influence beaucoup la direction de l'écoulement. Suite à des conseils de la professeure Marie Laroque, des corrections manuelles pourront être apportées au jeu de données. Par exemple, en ajoutant des points au milieu du ruisseau pour ajuster la hauteur de la nappe de façon plus réaliste à Boisbriand. Enfin, pour Saint-Roch-de-l'Achigan, il semble que la nappe ne soit pas en continuité hydrologique avec le ruisseau (la nappe plus élevée percole vers le ruisseau, mais le niveau du ruisseau n'influence pas le niveau de la nappe). Des coupes transversales réalisées à l'aide des points de stratigraphie importés dans GMS ainsi que des niveaux de la nappe phréatique fluctuants permettront de résoudre cette question afin d'apporter les correctifs appropriées aux cartes des nappes. Lorsque les points seront corrigés, Louise Hénault-Éthier pourra répéter la méthodologie déjà mentionnée pour refaire l'interpolation entre les points, puisque la méthode utilisée a été jugée valable.

## Outil Buffer Builder

Un des mandats qui s'est ajouté au cours du stage est l'utilisation de l'outil BufferBuilder (version 1.0). Il a été suggéré à Louise Hénault-Éthier par Isabelle Breune, une représentante du ministère de l'Environnement du Canada, d'utiliser cet outil qui avait préalablement servi pour plusieurs de ses travaux. Développé par

l'université du Kentucky en collaboration avec l'U.S. Department of Agriculture, cet outil, opérant sur la plate-forme d'ArcGIS, permet de placer les bandes riveraines aux endroits optimaux pour capter les sédiments qui s'écouleraient dans un ruisseau ou drain agricole. Selon le pourcentage de filtration désiré, BufferBuilder construit des bandes riveraines adéquates. Il permet donc, quand les bandes sont déjà en place, d'évaluer si elles sont dans un endroit idéal pour être efficace en les superposant aux bandes suggérées par BufferBuilder.

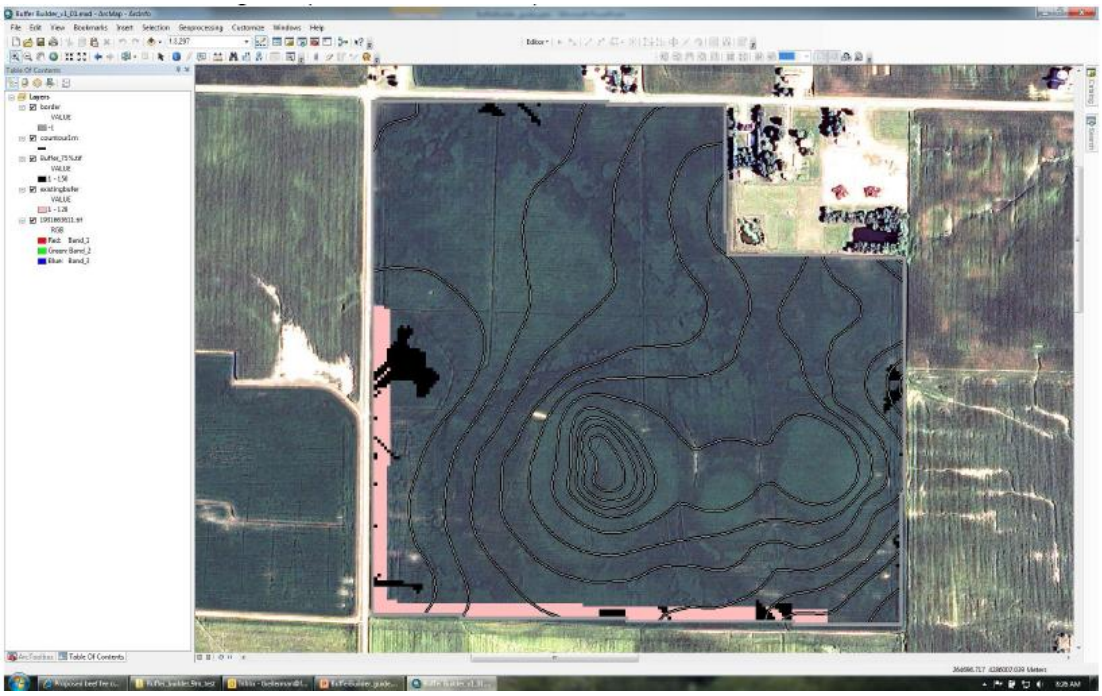


Figure 22 Exemple de résultats obtenus par l'outil BufferBuilder.
En rose, les bandes riveraines en place et en noir, les sites optimaux pour un taux de filtration de 75%. *Source : University of Kentucky (2013)*

Cet outil permettrait de comparer l'efficacité relative de chacune des bandes du projet SABRE par rapport aux résultats obtenus par BufferBuilder. Nous espérions en tirer des résultats qui s'ajouteraient aux analyses statistiques. De prime abord, l'utilisation de l'outil est relativement simple. Il demande seulement en entrée un MNT et une photo aérienne du champ à l'étude, et les bandes riveraines déjà en place sont

numérisées à partir de la photo pendant la deuxième étape de l'analyse, qui en comporte trois au total. La texture du sol et sa perméabilité sont des paramètres à fournir à l'outil lors de la deuxième étape, de même que le type de culture dans les champs à l'étude.

Cependant, des difficultés de fonctionnement ont été rencontrées dès la première étape. Une fois les problèmes résolus, il m'a été impossible de réaliser l'analyse principale. J'ai tenté plusieurs approches, sans succès. Isabelle Breune a généreusement offert d'effectuer des tests avec nos données de son côté. Or elle s'est aperçue que depuis qu'elle a changé d'ordinateur, il lui est impossible, tout comme moi, de se rendre plus loin que la deuxième étape de l'analyse. Je soupçonne donc un problème du côté du logiciel au niveau de la gestion des chemins d'accès des fichiers.

Malheureusement, après avoir consacré beaucoup de temps et d'énergie à l'utilisation de BufferBuilder, ce volet du projet a été abandonné faute de temps disponible. J'ai insisté longtemps, car les données que nous aurions pu obtenir auraient été très pertinentes pour mieux comprendre les dynamiques en place dans les bandes riveraines.

## Conclusion

Maintenant que mon stage est terminé, je suis satisfaite de constater la diversité des tâches accomplies. Loin d'être redondant, le travail à effectuer m'a permis de toucher à de nombreux aspects de la géomatique. De plus, la plupart des objectifs établis au début du stage ont été atteints,excepté dans le cas de la perméabilité du sol puisque nous n'avons pas eu accès aux équipements requis pour effectuer les mesures. Quelques modifications ont été apportées en cours de projet et je n'ai pas eu le temps de terminer la stratigraphie, mais les étapes concernant la localisation spatiale des carottes ont tout de même été réalisées.

Si j'avais à recommencer, un des aspects majeurs que je changerais dans mon approche est la façon dont j'ai construit la base de données. J'ai eu plusieurs corrections à apporter dans les fichiers Excel après les avoir exportés vers Access, ce qui m'a obligé à effectuer les modifications en double, et même parfois en triple puisque je devais aussi modifier certaines tables d'attribut dans ArcGIS. De plus, il y avait des fichiers complémentaires que j'ai dû ajouter plus tard, compliquant la gestion de la base de données. J'aurais aussi dû poser plus de questions à Louise Hénault-Éthier, ce qui aurait sans doute changé ma façon de trier les données. De manière générale, je pense que j'aurais eu avantage à mieux connaitre tous les données et aspects touchant à la géomatique du projet avant de construire la base de données. Je préférais le faire au début pour m'en servir au fur et à mesure (ce qui a tout de même été le cas), mais j'aurais pu attendre un peu plus tard et m'éviter du travail supplémentaire.

Également, pour un prochain projet du même genre, je changerais ma façon de gérer les tâches à accomplir. Comme au début je n'avais pas d'échéancier et d'objectifs très précis, je travaillais sur plusieurs petits sous-projets à la fois, et j'ai réalisé que ce n'était pas aussi efficace. Après discussion avec ma superviseure, nous avons établi

des tâches à effectuer pour chaque projet, et je me suis concentré sur un seul à la fois, quitte à mettre temporairement de côté certaines choses que j'avais commencées. Cette approche ressemble plus à ma méthode de travail habituelle, et j'ai été plus productive à partir de ce moment.

Je dois admettre que j'ai rencontré quelques difficultés à travailler en tant que seule géomaticienne du projet. Principalement, j'ai eu beaucoup d'incertitude quant à savoir si les méthodes que j'employais étaient réellement les plus optimales. Je me suis fiée à ce que j'ai appris grâce à mes cours, et j'ai consulté les forums de géomatique pour avoir l'avis d'autres professionnels des systèmes d'information géographique. La présence d'un collègue d'expérience m'aurait sans doute rassuré dans mes actions, et j'aurais sans doute passé moins de temps à chercher des informations sur Internet. Par contre, cette situation m'aura permis de développer mon autonomie et j'ai amélioré mon approche dans la recherche d'information. Parmi les autres apprentissages réalisés au cours de ce stage, je peux noter la manipulation des données matricielles, avec lesquelles j'avais peu travaillé auparavant, et l'utilisation de logiciels et extensions qui m'étaient totalement étrangers.

Je suis contente d'avoir eu la chance de participer au projet SABRE et d'y avoir apporté plusieurs des éléments utilisés, avec des outils et représentations visuelles qui serviront à complémenter des publications. Je porte une attention personnelle envers l'agroenvironnement, ce qui m'a apporté une motivation particulière pour le projet. Je souhaite continuation et réussite pour le projet et j'attends avec intérêt les conclusions issues de cette démarche scientifique.

## Références


Aquaveo (2013) « GMS 9.2 Tutorials »

- Stratigraphy Modeling – Boreholes and Cross Sections (12 p.)
- Stratigraphy Modeling – Horizon Coverages (13 p.)
- Stratigraphy Modeling – Horizons, TINs, and Meshes (8p.)
- Stratigraphy Modeling – Horizons and Solids (16 p.)
- Stratigraphy Modeling – Horizons with Rasters (13p.)
- Stratigraphy Modeling – TIN Surfaces (13p.)
- FEMWATER – Flow Model (18 p.)
- Geostatistics – 2D(15 p.)
- Geostatistics – 3D (13 p.)
- GIS module (11p.)

Agriculture et Agroalimentaire Canada (1998) « Le système canadien de classification des sols » 3e édition. Ottawa, Presse scientifique du CNRC. 187 p.

ESRI (2011) « Arc Hydro Tools – Tutorial » Redlands. 189 p.

Hellweger, Ferdi (1997) « AGREE - DEM Surface Reconditioning System », University of Texas. En ligne (page consultée entre juillet et septembre 2014): http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/gishydro/ferdi/research/agree/agree.html

GEODEQ II, service de la géodésie.*(*2001*)* « Fiche signalétique d'un point géodésique. Boisbriand (V) (73005) » (PLANI)

GEODEQ III et BDTQ, Ministère des ressources naturelles et de la faune. (2007) « Le Réseau Géodésique : MRC de Montcalm » Gouvernement du Québec.

Hénault-Éthier, Louise et all (2014) «Les bandes riveraines en agriculture :Une approche pluridisciplinaire pour une application concrète.» *Vecteur environnement*, septembre 2014 p.52-57

Hénault-Éthier, Louise. (2011) « Efficacité des bandes riveraines expérimentales de Salix Miyabeana SX64 pour mitiger les flux agro-chimiques dans le cadre du projet SABRE - Salix en Agriculture pour des Bandes Riveraines Énergétiques ». Projet de thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal

QGIS Project (2014) « QGIS Training Manual. Version 2.0» 429 p.

QGIS Project (2014) « QGIS User Guide. Version 2.0. » 273 p

University of Kentucky. (2013) « User's Manual. BufferBuilder : A Filter Strip Design Tool (version 1.0) » University of. Kentucky & US Forest Service. 18 pages,.

# ANNEXES

## Annexe I Photos des sites



Ruisseau Dumontier, Boisbriand. Saule de faible densité (15 000 tiges/ha) après 2 ans de croissance. (Courtoisie de Louise Hénault-Éthier)



Ruisseau Dumontier, Boisbriand. Les saules ont été coupés l'automne précédent (2013).



Ruisseau Moïse-Duprans, St-Roch-de-l'Achigan. Le lit du ruisseau se trouve à plus de 1,5 m de profondeur. (Courtoisie de Louise Hénault-Éthier)

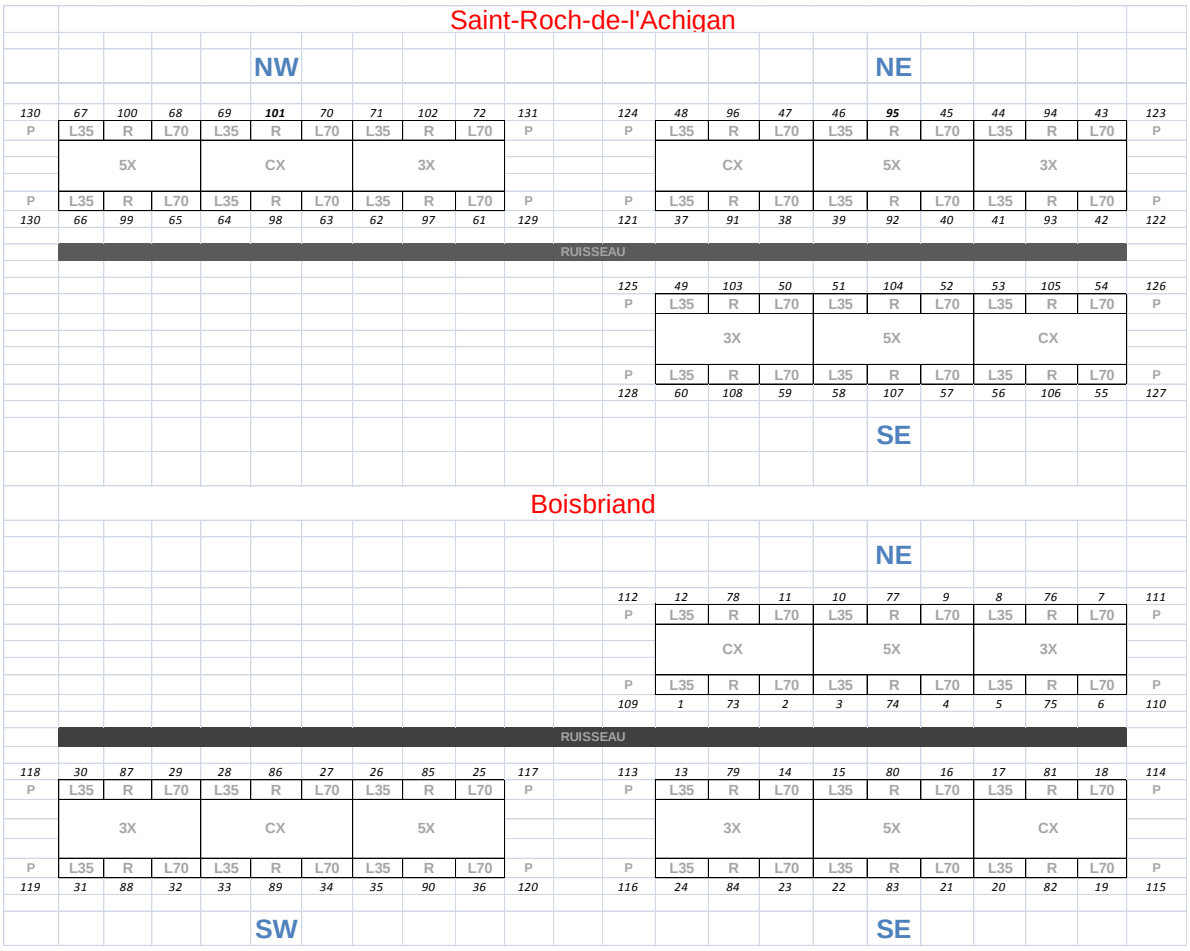


Ruisseau Moïse-Duprans, St-Roch-de-l'Achigan Les saules en haute densité ont été taillés à l'automne 2010. (Courtoisie de Louise Hénault-Éthier)

## Annexe II Plan des sites

Répartition spatiale des numéros de stations d'échantillonnage ; cette grille n'est pas à l'échelle et servait principalement de référence pour la numérotation des stations.

Les champs sont identifiés selon leur orientation et avec les termes anglais puisque les articles seront principalement publiés dans des revues anglophones.



## Annexe III Photos aériennes anciennes



Photo originale utilisée pour tracer le lit du ruisseau Dumontier en 1930.

Référence : Photo A3299.98, 1 : 18 000

*Informations supplémentaires non-disponibles ; photo trouvée dans la réserve de la cartothèque de l'UQAM.*

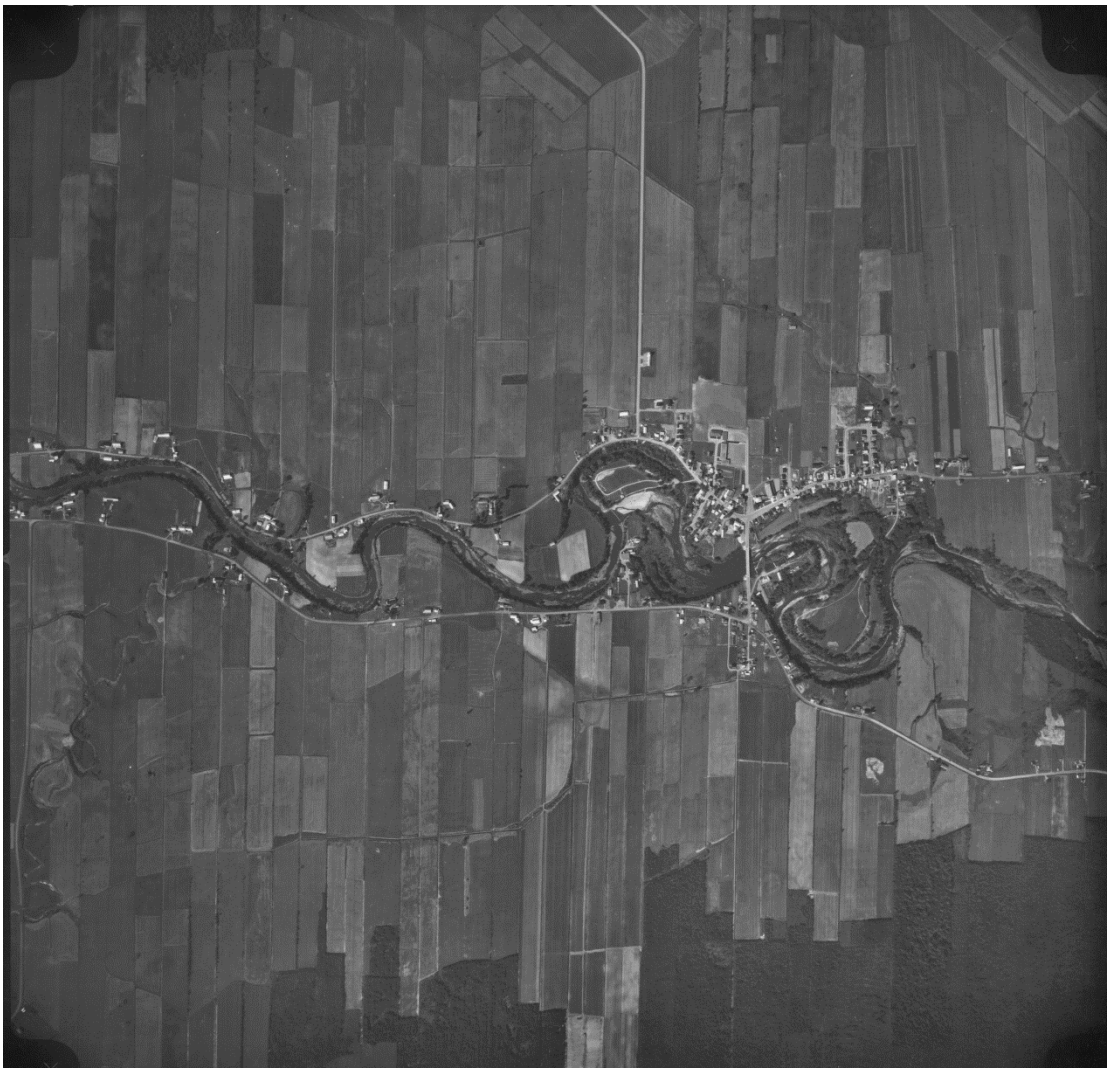
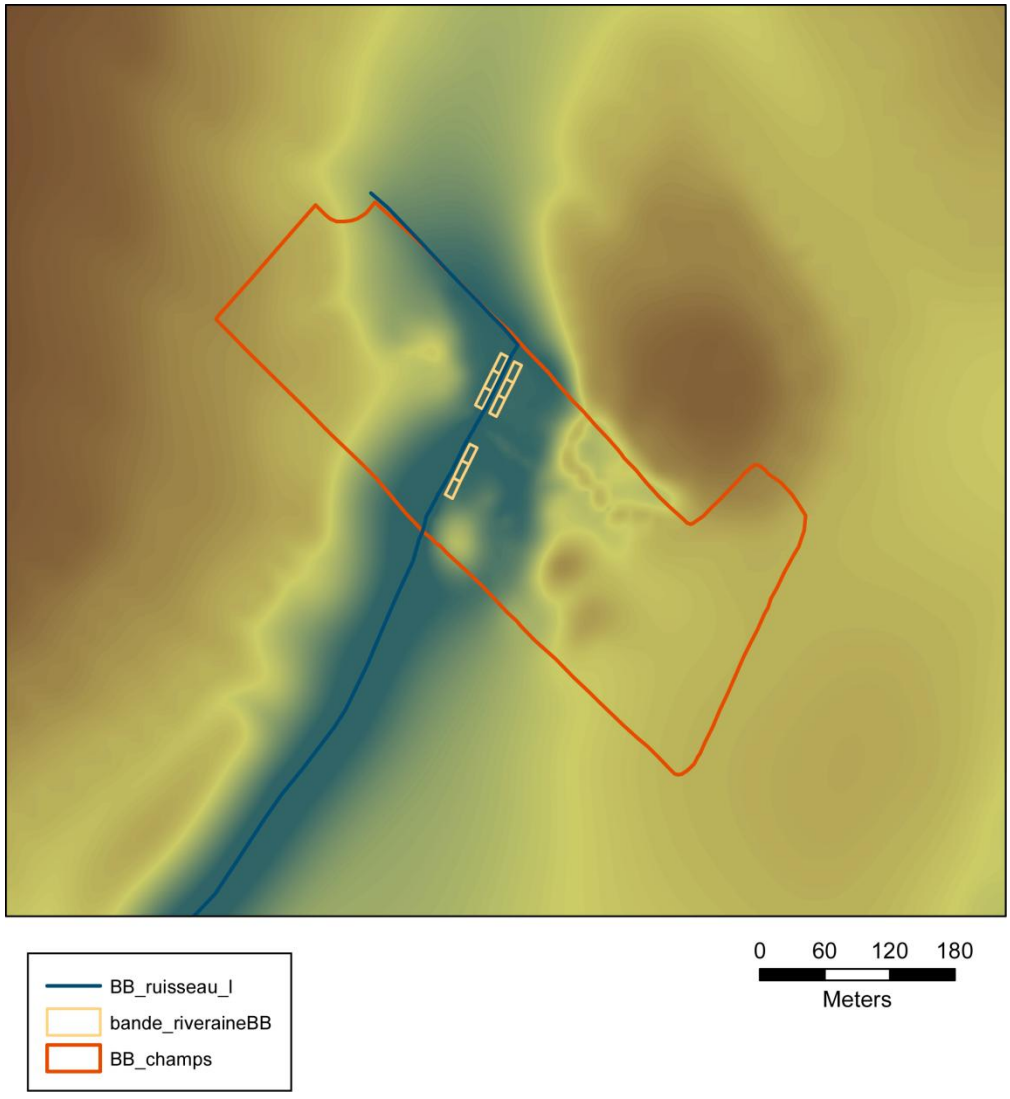


Photo originale utilisée pour tracer le lit du ruisseau Moïse-Dupras en 1964.

Référence : Ministère des terres et des forêts. Service de la photogrammétrie et cartographie. Photo-cartothèque provinciale, Québec. 1964
Photo Q64534-109, .1 :15 840

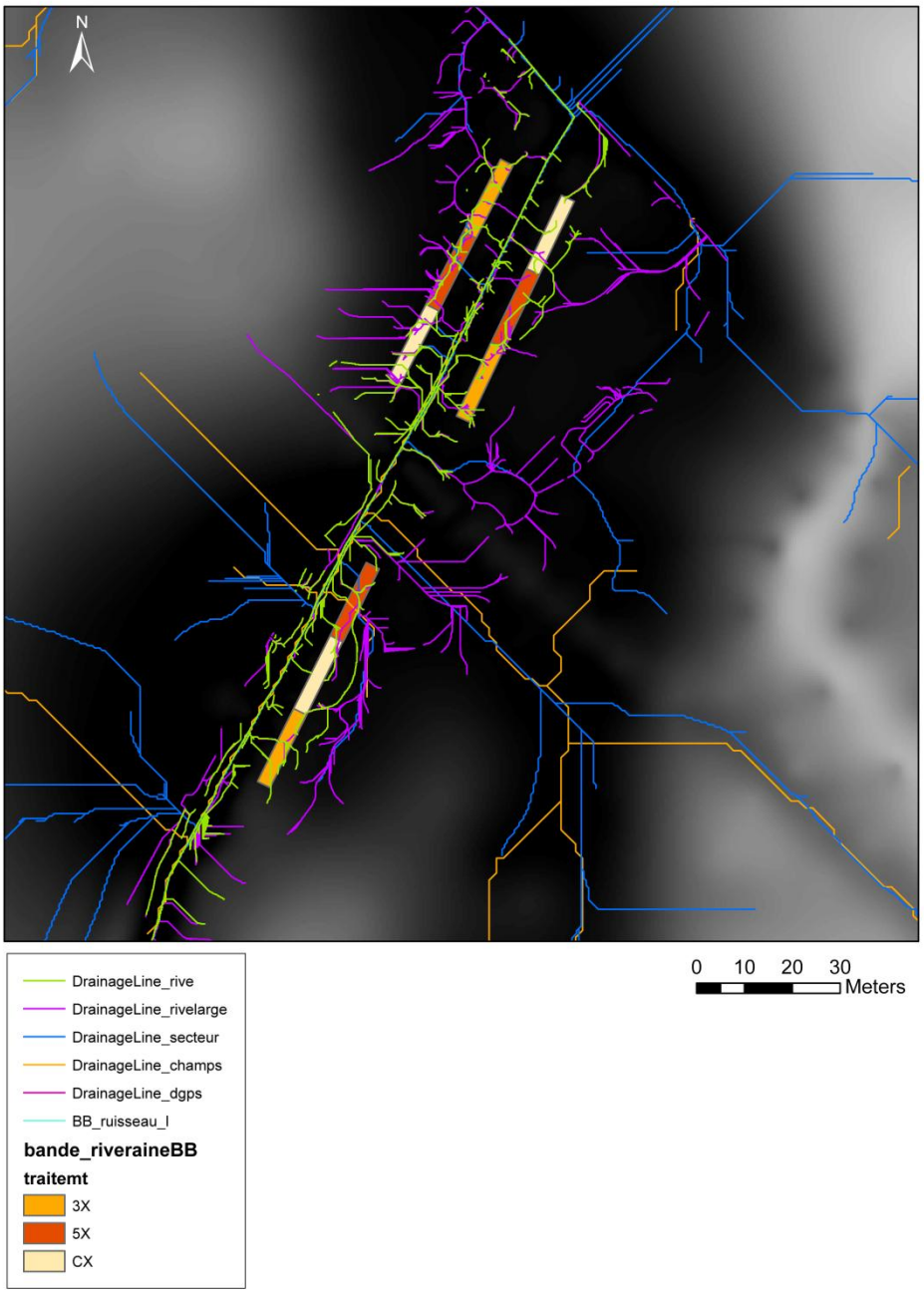
## Annexe IV Modèles de terrain

Plusieurs MNT ont été générés pour le projet, à différentes résolutions et différentes échelles. L'exemple ci-dessous montre une vue d'ensemble de la topographie autour du champ d'étude à Boisbriand, présenté avec une cartographie simplifiée.



## Annexe V Modèles de ruissellement

Sur la figure suivante, toutes les analyses de ruissellement du site de Boisbriand, effectuées à différentes échelles, sont présentées sur la même carte afin de les comparer visuellement et choisir celle qui s'applique le mieux pour les analyses souhaitées.



## Annexe VI –Paramètres pour la modélisation du ruissellement

### Site de Boisbriand

Paramètres utilisés pour le reconditionnement du MNT « brut » :

| Nom du MNT en sortie | *stream buffer* | *smooth drop* | *sharp drop* |
|---|---|---|---|
| AGREEDEM | 3 | 1 | 1 |

Paramètres en entrée dans le *workflow* et projets associés :

| **Étendue** | **Rives larges** | **Champs entier** | **Points DGPS** | **Zone élargie** |
|---|---|---|---|---|
| **Projet** | Bb_drainage_rive_large | Bb_drainage_champs | Bb_drainage_dGPS | Bb_drainage_secteur |
| **Nombre seuil de cellules pour le drainage** | 500 | 500 | 500 | 1000 |
| **MNT** | Dem_bb_riveL | Dem_bb_champs | Dem_bb_dGPS | Dem_bb_secteur |
| **MNT reconditionné** | AGREEDEM | AGREEDEM | AGREEDEM | AGREEDEM |

### Site de St-Roch-de-l'Achigan

Paramètres utilisés pour le reconditionnement du MNT « brut » :

| nom du MNT en sortie | stream buffer | smooth drop | sharp drop |
|---|---|---|---|
| AGREEDEM1 | 5 | 3 | 1 |
| AGREEDEM2 | 2 | 1 | 0.5 |

Paramètres en entrée dans le *workflow* et projets associés :

| **Étendue** | **Rives** | **Champs entiers** | **Points DGPS** | **Zone élargie** |
|---|---|---|---|---|
| **Projet** | SR_drainage_rive | SR_drainage_champs | SR_drainage_dGPS | SR_drainage_secteur |
| **Nombre seuil de cellules pour le drainage** | 500 | 1000 | 500 | 1000 |
| **MNT** | Dem_sr_rive | Dem_sr_champs | Dem_sr_dGPS | Dem_sr_secteur |
| **MNT reconditionné (ruisseau)** | AGREEDEM1 | AGREEDEM1 | AGREEDEM1 | AGREEDEM1 |
| **MNT reconditionné (fossés)** | AGREEDEM2 | AGREEDEM2 | AGREEDEM2 | AGREEDEM2 |

**Annexe VII - Classes de pentes**

Classification des pentes utilisée pour caractériser les différences de pente entre les instruments. D'après le *système canadien de classification des sols (1998).*

# Slope

The slope classes are defined as follows:

| Slope class | Percent slope | Approximate degrees | Terminology |
|---|---|---|---|
| 1 | 0–0.5 | 0 | level |
| 2 | >0.5–2 | 0.3–1.1 | nearly level |
| 3 | >2–5 | >1.1–3 | very gentle slopes |
| 4 | >5–10 | >3–5 | gentle slopes |
| 5 | >10–15 | >5–8.5 | moderate slopes |
| 6 | >15–30 | >8.5–16.5 | strong slopes |
| 7 | >30–45 | >16.5–24 | very strong slopes |
| 8 | >45–70 | > 24–35 | extreme slopes |
| 9 | >70–100 | >35–45 | steep slopes |
| 10 | >100 | >45 | very steep slopes |

## Annexe VIII - Base de données SABRE

*Certaines données sont répétitives pour conserver la structure utilisées dans d'autres logiciels (JMP et Excel)*

**Table « dGPS »** :

Contient la position de tous les points géographiques enregistrés par l'appareil dGPS, qu'ils soient reliés ou non à un instrument.

- **DGPS_ref** : code d'identification de chaque point, attribué sur le terrain au moment du relevé.
- x_raw, y_raw, z_*raw* : positions enregistrées par l'appareil avant correction.
- X_corr, y_corr, z_corr : positions une fois la correction géodésique appliquée.

**Table « Station »**

Chaque station correspond à un instrument de mesure. Les attributs Site, Bande, Côté et Traitement ne sont pas essentiel pour la géomatique mais correspondent à des codes utilisés dans JMP par Louise Hénault-Éthier et sont donc conservés ici pour faciliter son travail.

- **Station** : numéro de la station
- DGPS : lien avec la table dGPS, pour la position de chaque station
- Code inst : lien avec la table Code_instrument
- Site : Boisbriand ou St-Roch de l'Achigan
- Bande : Code indication l'orientation par rapport au champ.
- Côté : Côté ruisseau ou côté champs
- Traitement : contrôle, 5X, 3X

**Table « Code_instrument »**

Table de référence pour catégoriser les points DGPS et les stations.

- **Code_inst**: code d'identification numérique
- Utilisation sol : correspond à un instrument ou à une zone du terrain d'étude

**Table « Carotte »**

- **ID_carotte** : code d'identification de chaque carotte de sol
- Station : lien avec la table station
- Date : date de prélèvement de la carotte

**Table « Stratigraphie »**

Cette table ne respecte pas la 3$^{e}$ forme normale, car sa structure doit correspondre à celle demandée en entrée par le logiciel GMS, utilisé pour établir la stratigraphie du sol.

- ID_carotte : lien avec la table Carotte
- X_corr, y_corr, z_corr : position de la carotte
- Z_strate : hauteur absolue de la strate de sol
- Prof_rel : profondeur relative du début de la strate, à partir du niveau du sol.
- Type_sol : lien avec la table Type sol

**Table « Type sol »**

- **Type_sol :** identifiant numérique du type de sol
- Nom : code en paire de lettres pour identifier le type de sol, utilisé dans d'autres logiciels
- Description : courte description du type de sol
- Couleur GMS : correspondance avec les couleurs utilisées pour chaque strate dans le logiciel GMS.