

# ÉTUDE SUR LA SANTÉ DES SOLS AGRICOLES AU BAS-SAINT-LAURENT



Réalisée par  
Marie-Claude Duquette  
Géographe, M. Sc., M. ATDR

Février 2016

### Réalisation et rédaction

Marie-Claude Duquette, géographe, M. Sc., M. ATDR  
Pour la Table de concertation bioalimentaire du Bas-Saint-Laurent

### Collaboration

Hugues Fiola, agr., conseiller en agroenvironnement et en production animale, MAPAQ Bas-Saint-Laurent  
Ayitre Akpakouma, agr. M. Sc., conseiller régional en grandes cultures, MAPAQ Bas-Saint-Laurent  
Simon Tremblay, M. Sc., conseiller en aménagement et développement rural, MAPAQ Bas-Saint-Laurent  
Pierre-Luc Lizotte, agr. consultant Ph. D., ing. jr

### Révision de la méthodologie et conseils professionnels

Comité technique sur la santé des sols :

Ayitre Akpakouma, MAPAQ Bas-Saint-Laurent  
Francis April, FUPABSL et responsable du comité  
Michel Champagne, Agro-Enviro-Lab  
Isidore Charron, TCBSL  
Philippe Dionne, Club Sols Vivants  
Lise Dubé, Club gestion des sols du Témis  
Mylène Gagnon, FUPABSL et secrétaire du comité  
Josianne Thériault, Coopératives agricoles Ouest  
Agathe Vialle, Biopterre

### Photos

Christiane Cossette, technologue conseillère en agriculture biologique, MAPAQ Bas-Saint-Laurent

### Professionnels ayant participé à la validation de la cartographie

Club Action-Sol de La Matapédia  
JMP Consultants  
Groupe conseil agricole de la Côte-du-Sud

### Financement

MAPAQ, Direction régionale du Bas-Saint-Laurent  
Ce projet a été réalisé grâce à l'aide financière apportée dans le cadre du volet 3 de Prime-Vert 2013-2018.

## Liste des acronymes et des sigles

AAC : Agriculture et Agroalimentaire Canada

BDCA : Base de données des cultures assurées

FADQ : La Financière agricole du Québec

IDF : Courbes Intensité-Durée-Fréquence

INRS-ETE : Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement

IRDA : Institut de recherche et de développement en agroenvironnement

MAPAQ : Ministère de l’Agriculture, des Pêcheries et de l’Alimentation du Québec

MFFP : Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

MO : Matière organique

MRC : Municipalité régionale de comté

NIM : Numéro d’identification ministériel

PAA : Plan d’accompagnement agroenvironnemental

SIEF : système d’information écoforestière

SIG : Système d’information géographique

RNC : Ressources naturelles Canada

TCBBSL : Table de concertation bioalimentaire du Bas-Saint-Laurent

## **1. Contexte de réalisation de l'étude**

Au Bas-Saint-Laurent, depuis quelques années, des signes de détérioration des sols préoccupent de plus en plus les producteurs et les intervenants agricoles. La mauvaise santé des sols pourrait devenir un sérieux frein au développement de l'agriculture bas-laurentienne. Pour ces raisons, la santé des sols agricoles a été identifiée comme une priorité pour les acteurs du milieu agricole de la région. Pour répondre à cette préoccupation du milieu, il devenait nécessaire d'investiguer et de rassembler toutes les connaissances sur le sujet. Bien qu'il existe maintenant plusieurs données sur le sujet aucun portrait global de la situation des sols agricoles n'a été dressé depuis 1990. Sans la mise en commun des données, il est difficile d'avoir une vue d'ensemble de la situation et de déterminer si les efforts pour améliorer la santé des sols ont porté fruit. De ces constats est née la volonté des acteurs du milieu bas-laurentien d'obtenir l'heure juste sur la question.

L'objectif de cette étude est de faire un portrait de la santé des sols agricoles au Bas-Saint-Laurent afin de prioriser les secteurs d'intervention à l'échelle régionale. Le mandat consiste à réaliser une analyse spatiale multicritère pour créer un indice global de santé des sols. En fonction de la littérature et de la disponibilité des données, huit critères ont été déterminés pour être combinés dans l'indice global, soit : la compaction, les pratiques culturales, le travail du sol, la rotation des cultures, l'acidité, la teneur en matière organique (MO), l'érosion potentielle et le drainage naturel.

L'intégration des données existantes sur les sols et les pratiques culturales des exploitations agricoles au logiciel de géomatique ArcGIS d'Esri ([www.esri.ca/fr/content/arcgis](http://www.esri.ca/fr/content/arcgis)) a permis de concevoir huit couches d'information géographique représentant chacun des critères. La couche d'information géographique finale est une représentation cartographique d'un indice moyen pour chaque municipalité agricole. L'indice moyen par municipalité ainsi que les huit critères ont été cartographiés pour l'ensemble du territoire agricole de la région bas-laurentienne (voir la section A du volume 2 du rapport final). Cette synthèse de la démarche de travail présente les différentes manipulations de données qui ont été nécessaires à la conception des huit critères de santé des sols et de l'indice global.

## **2. Résumé de la démarche de travail**

Le succès de l'étude sur la santé des sols repose en grande partie sur la qualité et la disponibilité des données. La première étape du projet a été de compiler les données disponibles liées aux critères de santé des sols pour le territoire du Bas-Saint-Laurent. Les données géospatiales, c'est-à-dire les données dont la forme et la

localisation sont connues et qui possèdent une table d'attributs, étaient privilégiées. En effet, pour créer les huit critères et l'indice de santé des sols, il est nécessaire d'intégrer les données au logiciel de géomatique ArcGIS d'Esri. De ce fait, la seconde étape est de concevoir des couches d'information géographique représentant chacun des critères, afin de réaliser l'analyse spatiale multicritère permettant de créer l'indice global de santé des sols. Pour chaque critère, des classes ont été définies et un pointage leur est attribué. Les critères conçus à partir de données géospatiales ont été traités directement dans le logiciel de géomatique, alors que les critères qui ne possédaient pas de données géospatiales ont d'abord été traités dans les logiciels Excel et Access de Microsoft (<https://www.microsoft.com/fr-ca/>) avant d'être intégrés au logiciel de géomatique. Cette étape est de loin la plus longue et la plus laborieuse du projet, c'est pourquoi elle est détaillée plus loin dans ce document. Une fois les huit couches d'information géographique créées, leurs pointages sont additionnés pour obtenir la valeur finale de l'indice global de santé des sols. Cet indice se décline sur une échelle de 1 à 10 dans laquelle la plus grande valeur numérique correspond aux conditions du sol ayant le plus fort potentiel de dégradation. Puis, la superficie couverte par chacune des classes de valeur de l'indice a été calculée pour chaque municipalité afin d'obtenir une valeur d'indice moyen pondérée en fonction de la superficie pour une municipalité donnée. Enfin, les résultats préliminaires ont fait l'objet d'une validation auprès d'agronomes de clubs-conseils afin de vérifier si ces résultats concordaient avec leurs connaissances de la réalité de terrain.

### **3. Données d'origine**

Les sources des données utilisées dans l'élaboration des critères sur la santé des sols sont présentées au tableau 1. Ces bases de données ne sont pas toutes géolocalisées. C'est le cas des données provenant des plans d'accompagnement agroenvironnemental (PAA) et des analyses de sol. En revanche, les données provenant de la base de données des cultures assurées (BDCA), des études pédologiques, du système d'information écoforestière (SIEF) et du modèle numérique d'élévation sont des données géospatiales qui ont pu être traitées directement dans le logiciel de géomatique. En outre, ces bases de données n'ont pas le même niveau de précision et n'offrent pas toutes la même assurance quant à l'exactitude de leurs données. À titre d'exemple, les données de la BDCA sont à l'échelle du champ, alors que les données sur les paramètres chimiques des sols sont à l'échelle de la municipalité (tableau 2).

**Tableau 1 : Sources des données utilisées dans la création des critères sur la santé des sols**

Source	Format des données	Producteur de la source	Critères
Plans d'accompagnement agroenvironnemental (PAA) produits en 2012	Microsoft Access	MAPAQ	Compaction Pratiques culturales Travail du sol
Base de données des cultures assurées (BDCA) de 2009 à 2014	Vectorel (Shapefile de polygone)	FADQ	Rotation des cultures Érosion potentielle
Paramètres chimiques provenant des analyses de sol de 2000 à 2013	Microsoft Excel	Agro-Enviro-Lab Agridirect	Acidité Matière organique Érosion potentielle
Études pédologiques des MRC de Kamouraska, de Rivière-du-Loup, de Témiscouata et de Rimouski-Neigette	Vectorel (Shapefile de polygone)	MAPAQ Agriculture Canada (données numérisées par l'IRDA)	Matière organique Érosion potentielle Drainage naturel
Système d'information écoforestière (SIEF)	Vectorel (Shapefile de polygone)	MFFP	Matière organique Drainage naturel Érosion potentielle
Données numériques d'élévation	Matriciel (Pixel de 20 m X 20 m)	Ressources naturelles Canada	Érosion potentielle
Courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) des précipitations des stations météo disponibles sur Agrométéo Québec	Numérique (mm)	Alain Mailhot et Guillaume Talbot (INRS-ETE)	Érosion potentielle

**Tableau 2 : Précision et localisation des données utilisées pour les critères sur la santé des sols**

Source	Niveau de précision	Localisation
PAA	Entreprise	Adresse de l'entreprise
BDCA	Champ	Parcelle géoréférencée
Paramètres chimiques provenant des analyses de sol	Municipalité	Code géographique municipal
Études pédologiques	Unité série de sol	Unité géoréférencée
SIEF	Unité écoforestière	Unité géoréférencée
Données numériques d'élévation	Pixel de 20 m × 20 m	Pixel géoréférencé
Courbes IDF des précipitations	MRC	Code géographique MRC

Pour atténuer ces différences, une pondération a été attribuée à chaque critère en fonction de la fiabilité de ses données. Comme aucune étude similaire n'existe, la fiabilité des données a été déterminée pour chacun des critères à partir des caractéristiques suivantes : le type de données géographiques, la valeur quantitative ou qualitative, la précision de la localisation géographique, les données manquantes, la méthode d'estimation des données et la façon d'attribuer le pointage. Ces aspects ont fait l'objet de plusieurs discussions au sein de l'équipe de travail et du comité technique sur la santé des sols. De là, les critères ont été classés selon le niveau de fiabilité des données : Rotation des cultures > Érosion potentielle >> Drainage naturel >> Acidité > MO >> Travail du sol > Pratiques culturales >> Compaction. Puis, en respectant cet ordre, une valeur numérique faisant office de pondération a été attribuée aux critères (tableau 3).

**Tableau 3 : Pondération attribuée aux critères en fonction de la fiabilité de leurs données**

Critère	Pondération
<b>Compaction</b>	0,06
<b>Pratiques culturales</b>	0,09
<b>Travail du sol</b>	0,10
<b>Rotation des cultures</b>	0,18
<b>Acidité</b>	0,13
<b>Matière organique</b>	0,12
<b>Érosion potentielle</b>	0,17
<b>Drainage naturel</b>	0,15

## 4. Critères sans données géospatiales

L'absence de données géospatiales est une difficulté majeure à l'intégration des critères au logiciel de géomatique. Les données PAA qui ont servi à la création des critères « compaction », « pratiques culturales » et « travail du sol » ainsi que les données provenant des analyses de sol à l'origine des critères « acidité » et « MO » n'avaient pas de coordonnées géographiques permettant de les localiser précisément sur le territoire. Pour remédier à cette situation, ces bases de données ont été jointes à une couche d'information géographique existante. Cependant, un traitement des données a dû être préalablement réalisé dans les logiciels Excel et Access de Microsoft.

### 4.1. Critères issus des données PAA : compaction, pratiques culturales et travail du sol

Les données d'origine des PAA étaient en format Access. Des requêtes ont permis de sélectionner les questions pertinentes à chaque critère (voir section 3.4.1 à 3.4.3 du rapport final). Le but était d'obtenir une table ayant les numéros d'identification ministériels (NIM) des exploitations agricoles comme en-tête de ligne et chacune des questions des PAA comme en-tête de colonne. En exportant cette table dans le logiciel Excel, il était ensuite possible d'attribuer un pointage tel que défini dans les section 3.4.1 à 3.4.3 du rapport final de l'étude. Le pointage final a été calculé en effectuant la somme des points de chaque question, de telle sorte que chaque exploitation agricole ayant répondu au PAA a reçu un pointage. Pour les critères « compaction » et « pratiques culturales », la colonne affichant le pointage final a été exportée dans le logiciel de géomatique pour devenir l'attribut représentant la valeur du critère. Pour le critère « travail du sol », ce sont plutôt les superficies des différents types de travail de sol qui ont été exportées dans le logiciel de géomatique.

Afin de localiser sur le territoire ces valeurs, les données provenant des PAA (le pointage calculé dans Excel ou les valeurs de superficie) ont été intégrées au logiciel de géomatique. Pour ce faire, ces données ont été jointes à la couche d'information géographique des producteurs d'octobre 2013 par l'intermédiaire du NIM de l'exploitation agricole, qui est l'identifiant commun aux deux bases de données. La couche des producteurs d'octobre 2013 était celle qui se rapprochait le plus de l'année 2012, soit l'année correspondant aux PAA. Ainsi, il en est résulté une couche d'information géographique avec des objets ponctuels représentant les exploitations agricoles qui étaient associées à une valeur de pointage ou de superficie selon le critère. Pour étendre ces valeurs ponctuelles à l'ensemble de la zone agricole, une interpolation spatiale a été réalisée. Les valeurs entre les points ont donc été estimées par la méthode de pondération par l'inverse de la distance (Boîte à outils Spatial Analyst > Jeu d'outils Interpolation > IDW). Cette méthode a calculé la moyenne des valeurs des points dans le voisinage de chaque pixel en accordant plus de poids aux points qui étaient les plus près du pixel en cours d'analyse. La valeur de la puissance qui contrôle l'importance des points environnant était de 3, car une puissance plus élevée donne plus d'influence aux points les plus proches (Esri, 2015).

Suite à ces opérations, le résultat final des critères « compaction » et « pratiques culturales » a été affiché sous la forme d'une couche d'information matricielle. Par contre, des étapes supplémentaires ont été nécessaires pour le critère « travail du sol ». Comme pour les deux critères précédents, les données des PAA ont été fusionnées à celles de la couche d'information géographique des producteurs en octobre 2013 afin de représenter spatialement le type de travail du sol. L'interpolation spatiale a été réalisée sur les valeurs de superficie (et non sur le pointage) des trois types de travail du sol, de telle sorte qu'une couche matricielle a été créée pour chacun d'eux. Ensuite, les pixels de chacune des couches ont été classés en fonction des quartiles de la distribution des données de PAA pour chaque type de travail du sol. Les points ont été attribués en fonction de ces quartiles. Pour ce faire, les pixels des couches de chaque type de travail de sol ont reçu une nouvelle valeur correspondant à un pointage de 0 à 3 (Boîte à outils Spatial Analyst > jeu d'outils Reclassement > Reclassification). Puis, ces trois couches ont été additionnées (Boîte à outils Spatial Analyst > Jeu d'outils Algèbre spatial > calculatrice raster). De cette façon, la couche finale combinant les trois types de travail de sol possédait des pixels ayant une valeur entre 0 et 9.

#### **4.2. Critères issus des données des analyses de sol : acidité et MO**

Les données d'origine des analyses de sols étaient en format Access. Cette base de données était constituée de 51 621 analyses de sol réparties sur 9 années (2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2007, 2009, 2011 et 2013). Un prétraitement a été exécuté sur cette base de données afin d'éliminer les données aberrantes. La seule



information disponible au niveau de la localisation de l'échantillon de sol était la municipalité (identifiée par son code géographique) où celui-ci a été récolté. Pour spatialiser cette information, ces données ont été jointes à la couche d'information géographique du découpage administratif du Québec par l'intermédiaire du code géographique municipal, qui est l'identifiant commun aux deux bases de données. Par conséquent, une moyenne de pH et de MO a été calculée par municipalité. De plus, la valeur moyenne de l'ensemble des années a été utilisée afin d'avoir un nombre suffisant d'observations par municipalité. Pour obtenir cette information, une analyse croisée a été effectuée dans Access afin d'afficher une table de données avec les municipalités comme en-tête de ligne et leurs valeurs moyennes de pH et de MO associées. Cette table a été exportée dans Excel où un pointage a été attribué à chaque municipalité en fonction de la classe où la valeur se situait (voir section 3.4.5 et 3.4.6 du rapport final). Cette valeur de pointage a été exportée dans le logiciel de géomatique.

Suite à l'opération de jointure avec la couche du découpage administratif, le résultat final du critères « acidité » a été affiché sous la forme d'une couche d'information vectorielle où chaque polygone représentant une municipalité a reçu une valeur de pointage. Par contre, pour le critère « MO » des étapes supplémentaires ont été nécessaires afin de tenir compte de la texture du sol. En effet, les seuils des classes de teneur en MO étaient différents selon que les sols ont une texture légère ou lourde. Deux grilles de pointage ont alors été constituées : l'une pour les sols à texture légère et l'autre pour les sols à texture lourde. Par conséquent, pour une même valeur de MO associée à une municipalité, il pouvait y avoir deux pointages différents. Pour ce faire, dans le fichier Excel contenant les valeurs moyennes de MO en fonction des municipalités il y avait deux colonnes de pointage : l'une pour les textures légères et l'autre pour les textures lourdes. Ces données ont été intégrées au logiciel de géomatique par une jointure avec la couche du découpage administratif du Québec par l'intermédiaire du code géographique municipal. Chaque polygone représentant une municipalité pouvait recevoir un pointage de texture légère ou de texture lourde en fonction des polygones de la couche pédologique (ou écoforestière où il n'y a pas de pédologie). Le but était d'attribuer une valeur de pointage du critère « MO » à chaque polygone de texture provenant de la pédologie. Pour y arriver, il fallait :

- Créer deux couches vectorielles à partir de la couche pédologique : l'une avec les polygones représentant des sols à texture légère et l'autre avec les polygones avec des sols à texture lourde.
- Ajouter dans ces deux couches un nouveau champ pour recevoir le pointage associé aux valeurs de MO.
- Faire des sélections par attribut sur la couche des polygones de municipalités avec les pointages de MO pour chaque pointage (0 à 2) et chaque catégorie de texture (ex : faire une sélection des polygones de pointage 0 pour un sol à texture légère).

- Sauvegarder chacune des sélections précédentes en choisissant « créer une couche à partir des entités de sélectionnées ».
- Démarrer le mode édition pour inscrire le pointage dans les couches avec les polygones de texture.
- Réaliser des sélections par emplacement où la couche de texture, légère ou lourde, était la cible et les couches présélectionnées du pointage de MO (ex : la sélection des polygones de pointage 0 pour un sol à texture légère) était la source. La méthode de sélection par emplacement était celle où « les entités des couches cibles ont leur centroïde dans l'entité de la couche source ».
- Inscrire dans la couche de texture le pointage correspondant (0 à 2) après chaque sélection.
- Combiner la couche de texture légère et la couche de texture lourde en une seule couche.
- Afficher le résultat du champ avec le pointage du critère « MO » précédemment ajouté aux polygones de texture.

## 5. Critères avec données géospatiales

Les données géospatiales étaient déjà intégrées au logiciel de géomatique. Les données BDCA qui ont servi à la création des critères « rotation » et « érosion potentielle » ainsi que les données provenant de la pédologie et de l'inventaire écoforestier à l'origine des critères « drainage » et « érosion potentielle » étaient déjà sous la forme de couches d'information géographique. Les manipulations de données pour créer ces critères ont donc été réalisées directement dans le logiciel de géomatique à partir de ces couches existantes.

### 5.1. Critère issu des données BDCA : rotation des cultures

La BDCA de la FADQ a fourni des données géospatiales sur les types de cultures assurées par année et pour chaque parcelle de champ. Pour réaliser le critère « rotation des cultures », les données de 2009 à 2014 ont été utilisées. Les données originales étaient fournies dans plusieurs bases de données, séparées par année. Dans un premier temps, les 6 années utilisées pour le critère « rotation des cultures » ont été regroupées dans une même base de données. Pour ce faire, une jointure spatiale a été réalisée de centroïde de polygones (2009, 2010, 2011, 2012 et 2013) à polygone 2014 (la couche cible). Cette méthode de jointure permettait d'avoir une perte minimale d'information, soit une perte de 1,7% des polygones entre 2009 et 2014 pour l'ensemble du Québec (G. Gollo Gil, [MAPAQ], communication personnelle, 14 janvier 2015). Ensuite, seules les parcelles sur le territoire du Bas-Saint-Laurent ont été conservées, soit 49 991 parcelles cumulant une superficie de 178 496 ha. Ainsi, dans cette base de données, chaque polygone représentant une parcelle de champ possédait une information par année sur la culture pratiquée sur sa superficie, soit : foin, maïs, blé, orge, avoine, soya,

canola, maraîcher, autres céréales, cultures mixtes, petits fruits, chanvre. Il existait également la mention « Pas d'information » lorsqu'une parcelle n'est pas assurée pour une année donnée. Pour faire l'analyse des rotations des cultures, il a été décidé que les parcelles ayant la mention « Pas d'information » pour trois années et plus étaient rejetées et ne recevraient pas de pointage.

Le critère « rotation des cultures » consistait à attribuer un pointage en fonction du nombre d'années consécutives avec la même culture à chaque polygone représentant une parcelle de champ (voir section 3.4.4 du rapport final). Dans la table d'attribut de la BDCA contenant les 6 années, un champ a été créé pour inscrire ce pointage. Ensuite, la façon de procéder était de sélectionner toutes les possibilités de monoculture de 2 à 6 années consécutives pour chaque type de production et d'inscrire le pointage correspondant à la grille (voir tableaux 3.17 et 3.18 du rapport final). Ces manipulations ont été réalisées en mode édition afin d'inscrire le pointage directement dans la table d'attribut après chaque sélection. En faisant une sélection par attribut, dans laquelle un attribut représentait chaque année dans la table, il était possible d'écrire un code SQL spécifiant l'année et la culture recherchée. Par exemple, pour rechercher les parcelles avec une monoculture de 5 années consécutives en maïs, une possibilité de code serait : 2014 = maïs AND 2013 = maïs AND 2012 = maïs AND 2011 = maïs AND 2010 = maïs AND NOT 2009 = maïs. Ainsi, tous les polygones correspondant à une parcelle ayant reçu du maïs de 2010 à 2014 et une culture différente en 2009 ont été sélectionnés. Par la suite, le défi était de sélectionner toutes les combinaisons possibles de 6, 5, 4, 3 et 2 années consécutives avec la même culture. 43 combinaisons possibles de monoculture pour chaque culture ont été trouvées. Pour éviter d'oublier une combinaison, lorsqu'une sélection est réalisée, un code montrant le type de monoculture a été inscrit dans le champ « combinaison » préalablement créé. Pour l'exemple précédent, il était inscrit MMMMMX, pour représenter du maïs pour les années 2004 à 2010 et une culture différente en 2009. Le tableau 4 présente la lettre associée à chaque culture dans l'utilisation de ce code. Finalement, lorsqu'une sélection était réalisée, le pointage correspondant à la grille était également inscrit dans la table d'attribut. Enfin, lorsque les polygones des parcelles en culture ont tous été sélectionnés et ont tous reçu un pointage, le résultat du critère « rotation des cultures » s'affiche à partir du champ « pointage ».

**Tableau 4 : Les cultures et leur code correspondant inscrit dans le champ « combinaison » de la table du critère rotation**

Culture	Code
Foin	F
Maïs	M
Blé	B
Orge	O
Avoine	A
Soya	S
Canola	C
Autres céréales	U
Maraîcher (pomme de terre)	P
Petits fruits	T
Chanvre	V
Cultures mixtes	W
Pas d'information	Z
Culture différente de celle sélectionnée	X

## 5.2. Critère issu des données pédologique et écoforestière : érosion et drainage naturel

Le critère « drainage naturel » a été conçu à partir des données de la cartographie pédologique. Dans la table d'attribut de la couche d'information géographique sur la pédologie, un champ a été créé pour inscrire le pointage. Ensuite, il suffisait de faire des sélections par attribut à partir du champ décrivant le drainage (CLD\_DESC) et de sélectionner, l'une après l'autre, chacune des 7 classes de drainage naturel afin d'inscrire le pointage correspondant (voir tableaux 3.25 du rapport final). Cette opération se faisait en mode édition. Malheureusement, la cartographie pédologique ne couvrait que 67 % des superficies cultivées au Bas-Saint-Laurent (tableau 3.24). Pour cette raison, il a été nécessaire de faire appel à une autre source de données possédant des indications sur le drainage. Le SIEF possédait cette information et classifiait de façon similaire le drainage naturel des sols. Une comparaison des bases de données pédologiques et écoforestières sur le territoire de la MRC de Témiscouata a permis de vérifier le niveau de correspondance entre ces deux sources (voir tableau A.6 en annexe du rapport final). Pour attribuer le pointage aux polygones de la couche d'information géographique des données écoforestières, la même procédure a été utilisée pour la couche pédologique (le champ décrivant le drainage se nomme « CDR\_DESC »). Une fois le pointage attribué, il suffisait de combiner les deux couches pour en faire une seule (Boîte à outils Gestion des données > Jeu d'outils Général > combiner). Dans la couche finale, un champ a été créé pour y inscrire le pointage des deux couches précédentes. Celui-ci a été affiché comme résultat du critère « drainage naturel ». Dans les deux couches d'origine, les polygones avec aucune classification de drainage avaient préalablement été exclus.

Pour créer le critère « érosion potentielle », l'équation universelle révisée des pertes de sol pour application au Canada (RUSLE-CAN) a été utilisée (Wall *et al.*, 2002). Cette équation, développée dans les années 1960 (Wischmeier et Smith, 1978), prédit un taux moyen d'érosion à long terme (tonne/hectare/année [t/ha/a]) de la pente d'un champ en prenant en considération plusieurs facteurs : la pluviosité (R), l'érodabilité du sol (K), la topographie (LS), les cultures (C) et les pratiques de soutien qui limitent l'érosion (P) (figure 1). Un outil de calcul de l'équation RUSLE-CAN développé par AAC pour le logiciel ArcGIS d'Esri a permis d'automatiser l'utilisation de l'équation (Caron, 2014). Cet outil a été utilisé pour modéliser l'érosion potentielle dans le logiciel de géomatique.

**Figure 1 : Équation universelle des pertes de sol**

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (\text{Wischmeier et Smith, 1978})$$

où :

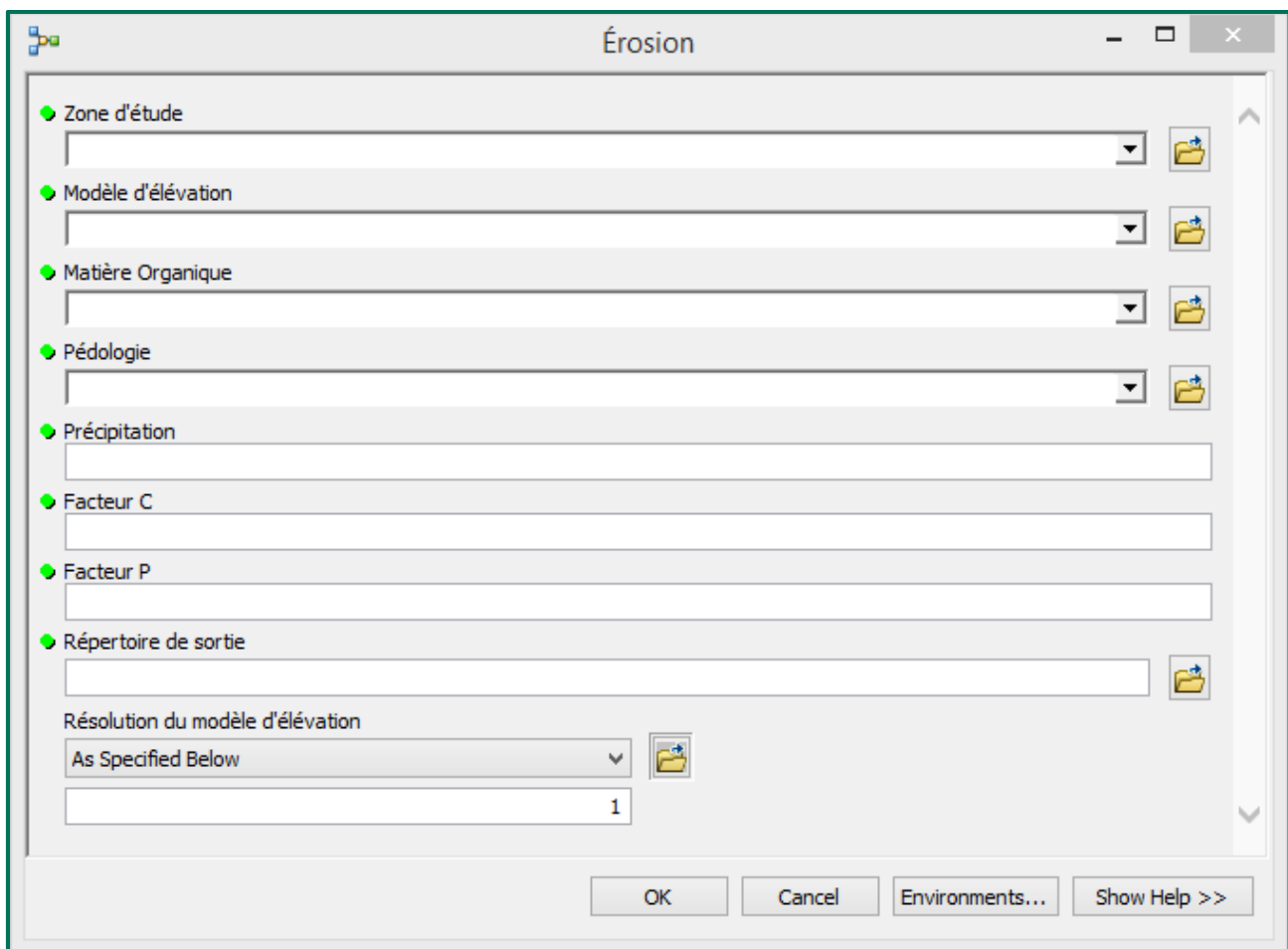
- A* représente les pertes de sol annuelles moyennes possibles à long terme en tonnes par hectare par année (calculées à l'origine en tonnes par acre par année). Cette valeur peut être comparée avec les seuils de « pertes de sol tolérables »;
- R* correspond au facteur de pluviosité (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)
- K* représente le facteur d'érodabilité du sol (t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>)
- L* et *S* correspondent respectivement aux facteurs de longueur et d'inclinaison de la pente (adimensionnels)
- C* représente le facteur de gestion des cultures (adimensionnel)
- P* représente le facteur des pratiques de soutien (adimensionnel)

Source : Wall *et al.*, 2002.

La procédure pour exécuter l'outil développé par AAC est détaillée dans le document « Modèle d'érosion RUSLE-CAN, Manuel d'emploi » de Caron (2014). Seules les manipulations nécessaires à la préparation des données sont présentées dans cette section. Les spécifications des données sont décrites au tableau 5. La texture du sol (MAPAQ, AAC, MFFP), la teneur en MO (Agridirect, Agro-Enviro-Lab), le modèle d'élévation (RNC), la BDCA (FADQ) et la pluviométrie (Mailhot et Talbot, 2011.) sont les données qui ont été utilisées pour la modélisation de l'érosion. La fenêtre de l'outil de calcul de l'équation RUSLE-CAN, telle qu'affichée dans le logiciel de géomatique, montre où ces données ont été insérées (figure 2). La couche d'information géographique de la BDCA a servi à délimiter la zone d'étude ainsi qu'à attribuer une valeur pour le facteur C et le facteur P. Pour ce faire, un nouveau champ a été créé pour chacun de ces deux facteurs. En mode édition, une valeur constante de 0,41 a été ajoutée dans le champ « Facteur\_C » et une valeur constante de 1 a été

ajoutée dans le champ « Facteur\_P ». Le modèle d'élévation qui définit le facteur LS était en format matriciel. Il a été inséré dans le second champ à remplir de la fenêtre de l'outil. Également, la taille des pixels du modèle d'élévation a été inscrite dans le champ « Résolution du modèle d'élévation ». Cette taille était de 20 m × 20 m et a déterminé la précision de la couche d'information finale du critère « érosion potentielle ».

Figure 2 : Fenêtre de l'outil de calcul de l'équation RUSLE-CAN dans le logiciel de géomatique



Source : Caron, 2014

Les valeurs du facteur K sur l'érodabilité des sols dépendent de la texture du sol et de la teneur en MO. Un champ « M\_O » a été ajouté à la couche d'information géographique du découpage administratif du Québec avec les limites municipales. La teneur moyenne en MO par municipalité (%) provenant des analyses de sol y ont été inscrites en mode édition. La couche pédologique combinée à la couche écoforestière a été utilisée pour déterminer la valeur du facteur K associée à la texture du sol. En effet, aux endroits où il n'y a pas eu de relevés pédologiques au Bas-Saint-Laurent (MRC de La Matanie et de La Matapédia), les textures du sol ont été estimées à partir des dépôts de surface indiqués dans la base de données écoforestières. L'annexe A-5 du

rapport sur l'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue a fourni la correspondance entre les classes de texture des relevés pédologiques et les dépôts de surface de la base de données écoforestières (Blanchette, 2012). Cependant, les classes de texture issues de cette correspondance étaient plus limitées (argile, loam, sable, till, gravier et divers) que celles affichées dans le tableau du facteur K de l'équation RUSLE-CAN. Alors, une comparaison entre les textures des cartes pédologique et écoforestière a permis de déterminer la texture de la carte pédologique qui était la plus abondante (en superficie) pour une texture donnée de la carte écoforestière (tableau 6). Par exemple, la texture « argile » dans la carte écoforestière était le plus souvent représentée dans la carte pédologique par une texture « loam argileux ». Par conséquent, la valeur du facteur K associée à la texture « loam argileux » a été attribuée à la texture « argile » provenant de la carte écoforestière. Une fois que tous les polygones de la couche pédologique combinée à l'écoforestière se sont vus attribuer une texture, un champ « Analyse » a été ajouté à cette couche. Dans ce champ, les valeurs du tableau du facteur K de l'équation RUSLE-CAN (voir figure A.3 en annexe du rapport final) en fonction des textures y sont ajoutées en faisant des sélections par attribut (où l'attribut représente la texture).

**Tableau 5 : Spécifications des données utilisées pour chaque facteur de l'équation**

Facteurs de l'équation	Source	Variable	Format des données	Producteur de la source
<b>Pluviosité (R)</b>	Courbes IDF des précipitations des stations météo sur Agrométéo Québec	Hauteur d'eau pour une averse normale de 6 heures se produisant tous les 2 ans	Numérique (mm)	Alain Mailhot et Guillaume Talbot (INRS-ETE)
<b>Érodabilité du sol (K)</b>	Études pédologiques	Texture du sol	Vectorel (Shapefile de polygone)	MAPAQ Agriculture Canada (données numérisées par l'IRDA)
	Système d'information écoforestière (SIEF)	Dépôt de surface	Vectorel (Shapefile de polygone)	MFFP
	Paramètres chimiques provenant des analyses de sol de 2000 à 2013	Moyenne de la teneur en MO par municipalité sur 9 années (%)	Microsoft Excel joint au shapefile des limites municipales	Agro-Enviro-Lab Agridirect
<b>Topographie (LS)</b>	Données numériques d'élévation		Matriciel (Pixel de 20 m X 20 m)	Ressources naturelles Canada
<b>Cultures (C)</b>	Base de données des cultures assurées (BDCA) de 2009 à 2014		Vectorel (Shapefile de polygone)	FADQ
<b>Pratiques de soutien (P)</b>	Base de données des cultures assurées (BDCA) de 2009 à 2014		Vectorel (Shapefile de polygone)	FADQ

**Tableau 6 : Correspondance entre les textures des données pédologiques et les dépôts de surface des données écoforestières**

Dépôt de surface (données écoforestières)	Texture avec le plus d'occurrence (données pédologiques)
Argile	Loam argileux
Loam	Loam limoneux
Sable	Sable loameux
Till	Loam
Graveleux	Loam sableux
Divers	Loam sableux

Dans le champ à remplir « précipitation » de la fenêtre de l'outil, la valeur du facteur R qui correspond à la hauteur d'eau en millimètres d'une averse normale de six heures avec une récurrence de deux ans y a été inscrite (Caron, 2014). Il n'y a pas de couche d'information géographique associée à cette donnée. Il suffisait d'indiquer la valeur estimée de la pluviosité qui a été calculée par MRC en fonction du nombre de stations météorologiques. De ce fait, la modélisation de l'érosion à partir de l'outil de calcul de l'équation RUSLE-CAN a été réalisée par MRC. Par la suite, les couches matricielles de chaque MRC ont été combinées en une seule couche (Boîte à outils Gestion des données > Jeu d'outils Raster > Jeu de données Raster > Mosaïque). Au final, le résultat du calcul de l'équation a été affiché sous la forme d'une couche d'information matricielle où chaque pixel a reçu une valeur de pertes de sol annuelles moyennes possibles à long terme (t/ha/a). Pour compléter le critère « érosion potentielle », les valeurs d'érosion des pixels ont été reclassées en fonction de la grille de pointage définie dans la section 3.4.7 du rapport final (Boîte à outils Spatial Analyst > jeu d'outils Reclassement > Reclassification).

## 6. Indice global de santé des sols

Une fois les huit couches d'information géographique créées, leurs pointages ont été additionnés pour obtenir la valeur finale de l'indice global de santé des sols. La valeur de l'indice se décline sur une échelle de 1 à 10 dans laquelle la plus grande valeur numérique correspond aux conditions du sol ayant le plus fort potentiel de dégradation. La couche d'information géographique finale de l'étude est un indice moyen pour chaque municipalité agricole.

L'opération d'addition des couches a dû être réalisée en format matriciel. Pour ce faire, les 4 couches des critères en vectoriel, soit « rotation des cultures », « acidité », « MO » et « drainage naturelle », ont été convertis en matriciel (Boîte à outils Conversion > vers raster > polygone vers raster). Il était essentiel que les



huit couches à additionner possèdent des pixels de même dimension. Dans la fenêtre de l'outil conversion, la dimension de 20 m X 20 m a été spécifiée comme taille de cellule.

Dans un second temps, les pixels ont reçu une nouvelle valeur correspondant à la pondération établit en fonction de la fiabilité des données (tableau 2). Les pointages définis pour chaque critère ont d'abord été ramenés sur une base 10 pour que les échelles de pointage soient proportionnelles. Ensuite, les pointages des critères ont été multipliés par leur valeur de pondération respective. Puis, ces valeurs ont été multipliées par 100 000 puisque le format matriciel n'accepte pas les nombres avec des décimales. Le tableau 7 présente un exemple de calcul à partir du pointage du critère « compaction ». La dernière colonne du tableau 7 sont les nouvelles valeurs des pixels à inscrire pour le critère « compaction » à partir d'une reclassification (Boîte à outils Spatial Analyst > jeu d'outils Reclassement > Reclassification). Dans la fenêtre de l'outil reclassification, il était important de cocher « Remplacer les valeurs manquantes par NoData » pour éviter que les données manquantes reçoivent la valeur de 0. Ces opérations ont été exécutées pour chacun des 8 critères.

**Tableau 7 : Calculs effectués sur le pointage du critère « compaction »**

Pointage du critère compaction	Pointage à ramener sur une base 10	Appliquer la pondération (Valeur x 0,06)	Multiplier par 100 000 pour le format matriciel
0	0	0	0
1	1,66666	0,099999	9999,9
2	3,33333	0,199999	19999,9
3	5	0,3	30000
4	6,66666	0,399999	39999,9
5	8,33333	0,499999	49999,9
6	10	0,6000	60000

Une fois que les pixels de chaque critère ont reçu leurs nouvelles valeurs pondérées, il suffisait d'additionner les huit couches matricielles représentant chacun des critères à partir de l'outil calculatrice raster (Boîte à outils Spatial Analyst > algèbre spatiale > calculatrice raster). La formule à inscrire dans la fenêtre de l'outil calculatrice raster est : "erosion" + "drainage" + "MO" + "acidite" + "rotation" + "travaildusol" + "pratiquesculturales" + "compaction". La couche matricielle résultante avait des pixels avec des valeurs allant de 0 à 1 000 000. L'étendu des valeurs pour le Bas-Saint-Laurent était de 62 554 à 771 953. Pour obtenir une couche matricielle dans laquelle les pixels ont des valeurs d'indice entre 0 et 10, il a fallu modifier la symbologie et faire des nouvelles classes en divisant les anciennes valeurs par 100 000. Par exemple, la valeur d'indice 1 correspondait aux pixels ayant la valeur de 50 001 à 150 000, la valeur d'indice 2 correspondait aux pixels de 150 001 à 250 000, et ainsi de suite.

La dernière étape était de calculer pour chaque municipalité la superficie couverte par chaque classe de valeur de l'indice afin d'obtenir une valeur d'indice moyen pondérée en fonction des superficies pour chaque municipalité agricole de la région. Il a fallu d'abord convertir la couche matricielle résultant de l'addition des huit critères en vectoriel (Boîte à outils Conversion > à partir d'un raster > raster vers polygone). Dans la nouvelle couche vectorielle de l'indice, un champ se nommant « indice » a été créé pour inscrire les valeurs de l'indice de 1 à 10. En mode édition, des sélections par attribut des valeurs du champ « gridcode » (valeur des pixels) a permis d'inscrire les valeurs de 1 à 10. Par exemple, pour la valeur de l'indice 3, le code à inscrire dans la sélection était : « gridcode » > 250 000 AND « gridcode » < 350 001. Les polygones sélectionnés dans la table d'attribut ont reçu alors la valeur de 3 dans le champ « indice ». Ensuite, pour alléger le traitement informatique de la couche vectorielle de l'indice, les polygones adjacents de mêmes valeurs peuvent être fusionnés (Outil de gestion de données > Généralisation > fusionner, puis il faut décocher « créer des entités multi-parties »).

Enfin, le calcul par municipalité de la superficie de chaque classe de l'indice a été réalisé. Il fallait faire une sélection par attribut de chaque classe de l'indice (0 à 10) et créer une couche à partir des entités sélectionnées pour chacune de ces classes. Ensuite, la municipalité dont l'indice moyen est à calculer était sélectionnée manuellement. Puis, une sélection par emplacement était réalisée. Dans cette sélection la « couche cible » était une couche de sélection, précédemment créée, représentant une classe de la couche vectorielle de l'indice (par exemple tous les polygones de la classe 3 de l'indice) et la « couche source » était la couche du découpage municipale où la municipalité a été sélectionnée précédemment (cocher « utiliser les entités sélectionnés » dans la fenêtre de l'outil sélection par emplacement). La méthode de sélection par emplacement était celle où « les entités des couches cibles ont leur centroïde dans l'entité de la couche source ». Suite à cette sélection, il a été possible d'obtenir les statistiques du champ « superficie » des polygones sélectionnés dans la table d'attribut. La somme des superficies des polygones sélectionnées, qui représentait le total de la superficie d'une classe de l'indice pour une municipalité, a été copiée et collée dans un fichier Excel. Ces opérations ont été exécutées pour les 10 classes de l'indice et pour chaque municipalité.

La valeur moyenne de l'indice par municipalité a été calculée dans un fichier Excel en multipliant la valeur de chaque classe de l'indice par leurs superficies respectives, puis en divisant la somme de ces valeurs par la superficie totale (celle considérée dans l'indice) de la municipalité, le résultat était une valeur d'indice moyen par municipalité. Ce calcul a été fait pour chaque municipalité. Finalement, pour spatialiser cette information dans le logiciel de géomatique, ces données ont été jointes à la couche d'information géographique du

découpage administratif du Québec par l'intermédiaire du code géographique municipal, qui était l'identifiant commun aux deux bases de données. Suite à l'opération de jointure avec la couche du découpage administratif, le résultat final de l'indice global de santé des sols a été affiché sous la forme d'une couche d'information vectorielle où chaque polygone représentant une municipalité a reçu une valeur d'indice moyen de santé des sols.

## **7. Conclusion**

Le mandat de l'étude sur la santé des sols agricoles au Bas-Saint-Laurent consistait à réaliser une analyse spatiale multicritère pour créer un indice global de santé des sols. Cette synthèse de la démarche de travail présente les différentes manipulations de données qui ont été nécessaires à la conception des huit critères de santé des sols et de l'indice global.

À l'aide de la géomatique et de données existantes, le portrait de l'état des sols agricoles a pu être réalisé avec un minimum de ressources. Le résultat final de cette étude est un indice global de santé des sols conçu à partir de huit critères représentant l'état des sols agricoles au Bas-Saint-Laurent. Les huit critères sont la compaction, les pratiques culturales, le travail du sol, la rotation des cultures, l'acidité, la teneur en MO, l'érosion potentielle et le drainage naturel. L'indice se décline sur une échelle de 1 à 10 dans laquelle la plus grande valeur numérique correspond aux conditions du sol ayant le plus fort potentiel de dégradation. L'indice moyen par municipalité ainsi que les huit critères ont été cartographiés pour l'ensemble du territoire agricole de la région bas-laurentienne. Ils sont également disponibles sous la forme d'un outil géomatique pour la consultation ou la mise à jour ultérieure des données. Certaines couches d'information géographique seront également consultables au [www.info-sols.ca](http://www.info-sols.ca), une application Web du MAPAQ sur les terres agricoles. De cette façon, les données des critères et de l'indice pourront jouer leur rôle d'outil d'aide à la décision pour les intervenants du milieu agricole. De même, ce projet a été documenté afin que l'étude serve de référence dans le cadre de projets futurs.

## 8. Liste des références

- Agriculture Canada (1989). *Étude des sols défrichés du comté de Rimouski (Qué.)*. Québec, Québec : Agriculture Canada, Direction générale du développement agricole.
- Baril, R. et Rochefort, B. (1965). *Étude pédologique du comté de Kamouraska (Québec)*. La Pocatière, Québec : Station de recherches scientifiques du ministère de l'Agriculture du Canada, en collaboration avec la Faculté d'agriculture de l'Université Laval et du ministère de l'Agriculture de la Province de Québec.
- Baril, R. et Rochefort, B. (1979). *Étude pédologique du comté de Rivière-du-Loup*. Québec, Québec : MAPAQ, Direction de la recherche.
- Blanchette, D. (2012). *Correspondance des classes de drainage IRDA-SIEF*. Annexe A-5 du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue, Protocoles pour la production des livrables PACES. Amos, Québec : Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue.
- Caron, A. (2014). *Modèle d'érosion RUSLE-CAN. Manuel d'emploi*. Lennoxville, Québec : Centre de recherche et de développement sur le bovin laitier et le porc d'Agriculture et Agroalimentaire Canada.
- Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) (2015). *Licence d'utilisation d'un produit numérique cartographique*. Repéré à [www.irda.qc.ca/assets/documents/P%C3%A9dologie/Info\\_pedo\\_arda\\_mai2015.pdf](http://www.irda.qc.ca/assets/documents/P%C3%A9dologie/Info_pedo_arda_mai2015.pdf)
- La Financière agricole du Québec (FADQ) (2015). Base de données des cultures assurées (BDCA). Repéré à [www.fadq.qc.ca/geomatique/professionnels\\_en\\_geomatique/base\\_de\\_donnees\\_de\\_cultures\\_assurees.html](http://www.fadq.qc.ca/geomatique/professionnels_en_geomatique/base_de_donnees_de_cultures_assurees.html)
- Mailhot, A. et Talbot, G. (2011). Courbes IDF (intensité, durée, fréquence) de précipitations [Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement (INRS-ETE)]. Repéré à [www.agrometeo.org/atlas/idf/true](http://www.agrometeo.org/atlas/idf/true)
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) (2015). Couche écoforestière. Repéré à <http://geoboutique.mern.gouv.qc.ca/edel/pages/recherche/critereRechercheEdel.faces>
- Rochefort, B. (1981). *Étude pédologique du comté de Témiscouata (Québec)*. Québec, Québec : MAPAQ, Direction de la recherche, Service de recherche en sols.
- Wall, G. J., Coote, D. R., Pringle, E. A. et Shelton, I. J. (dir.) (2002). *RUSLE-CAN. Équation universelle révisée des pertes de sol pour application au Canada. Manuel pour l'évaluation des pertes de sol causées par l'érosion hydrique au Canada* (N° de la contribution : AAC 2244F). Ottawa, Ontario : Agriculture et Agroalimentaire Canada, Direction générale de la recherche.
- Wischmeier, W. H. et Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning* (Agricultural handbook n° 537). Washington, DC : USDA.