

Table des matières

I. Introduction.....	5
I.1. Objectif du mandat.....	5
I.2. Critères sur lesquels sont basés l'évaluation du potentiel d'infiltration des eaux de ruissellement par les bas-côtés	6
I.2.1. Critères qui conditionnent l'infiltration des eaux de ruissellement au niveau d'un bas-côté.....	6
I.2.2. Conditions optimales de l'infiltration des eaux de ruissellement au niveau d'un bas-côté ..	8
I.3. Typologie	8
I.4. Objectif de la cartographie du potentiel d'infiltration des eaux de ruissellement par les bas-côtés	9
II. Elaboration de la méthodologie	10
II.1. Etape 1 : Obtention des résultats pour chacun des trois critères.....	10
II.1.1. La géométrie.....	10
II.1.2. L'état de surface.....	11
II.1.3. La texture.....	11
II.2. Etape 2 : Croisement des résultats pour chacun des trois critères.....	12
II.3. Etape 3 : Vérification des résultats sur le terrain, puis établissement d'indices de fiabilité	12
II.4. Etape 4 : Établissement de la typologie	12
II.5. Etape 5 : Établissement de la cartographie de potentialité	13
III. Application de la méthodologie	14
III.1. Données utilisées	14
III.2. Déroulement du travail	15
III.2.1. La Géométrie	15
III.2.2. L'état de surface	16
III.2.3. La texture.....	18
III.3. Acquisition des données pour la création de la carte des textures	19
III.4. Préparation des données : création d'une couche constituée d'une seule polyligne, représentant le réseau des routes RN*.....	19
III.5. Obtention et validation de la couche de type polyligne renfermant les informations texturales pour l'ensemble des cantons	23
III.6. Résultats et Statistiques de la couche de type polyligne renfermant les informations texturales pour l'ensemble des cantons excepté Neuchâtel.	24
III. 7. Distribution des points de vérification des résultats sur le terrain le long de la couche de type polyligne renfermant les informations texturales pour l'ensemble des cantons	28
IV. Conclusion.....	28

V. Bibliographie	29
VI. Table des illustrations	30
VII. Glossaire.....	30
VII. Annexe	31
VII.1. Modèle de données de la base de données pédologiques du canton de Vaud (source : canton de Vaud)	31
VII.2. Description détaillée de l'élaboration de la carte des textures des sols Vaudois traversés par l'autoroute.....	32
VII.2. 1.Création de jointure entre les tables de la base de données pédologiques fournies par le canton de Vaud permettant d'exploiter les informations texturales qu'elle renferme.	32
VII.2.2. Scannage et géo-référencement de la carte pédologique du canton de Vaud	33
VII.2.3. Création de la couche contenant les textures des sols des bas-côtés le long des RN du canton de Vaud	36
VII.4. Obtention d'une couche unique en fusionnant la couche « RN_swisstopo_UNITECARTOGRAPHIQUE_Intersect» avec la couche « RN_swisstopo_UNITECARTOGRAPHIQUE_Intersect_Erase ».....	41

Nb : Les termes accompagnés d'une étoile sont explicités dans le glossaire en annexe

I. Introduction

Du fait de l'importance vitale que représente l'eau douce pour l'homme, la gestion de son cycle représente un des enjeux majeurs du millénaire. Pour relever ce défi, de nombreux pays ont modifié leur législation. Au niveau Suisse, la loi sur la protection des eaux a été modifiée le 24 janvier 1991 (LEAUX). Elle préconise la conservation aussi naturelle que possible du cycle de l'eau. Pour satisfaire cette exigence, l'article 7 de cette loi prévoit d'infiltrer directement dans les sols les eaux non polluées, lorsque la situation le permet. Cet article considère que le sol, dans ce cas, est capable de jouer le rôle de barrière à particules, permettant d'épurer davantage ces eaux avant qu'elles n'atteignent les nappes phréatiques.

Au regard de leurs charges en polluants, certaines eaux de ruissellement issues des routes nationales peuvent être considérées comme non polluées. C'est pourquoi l'infiltration des eaux de ruissellements par les sols des bas-côtés a été appliquée, avec succès, au niveau de plusieurs tronçons de l'A9 en Valais. L'OFROU* (Office Fédérale des Routes) s'intéresse particulièrement à la problématique d'infiltration des eaux de ruissellement par les sols des bas-côtés pour deux raisons. D'une part, cette solution d'épuration des eaux est très simple à mettre en place et d'autre part elle présente un avantage économique non négligeable. L'OFROU souhaite donc favoriser cette solution, d'autant plus que la mise aux normes du système actuel d'évacuation et de traitement des eaux de ruissellement est aujourd'hui nécessaire. En effet, ce système a été construit, jusqu'en 1998, sur la base des directives du Département fédéral de l'intérieur, datant du 27 mai 1968, aujourd'hui caduques[1].

Afin de posséder une vision d'ensemble du potentiel d'infiltration des eaux de ruissellement par les bas-côtés sur l'ensemble de son réseau, l'OFROU a mandaté hepia*, (début du mandat : février 2012, fin du mandat: juin 2013) Ce mandat, auquel je participe en tant qu'assistante au côté d'Alain Dubois (spécialiste géomatique) et de Pascal Boivin (spécialiste infiltration par les sols des bas-côtés), va en partie être réalisé à l'aide des outils que la géomatique offre. Voilà pourquoi, je présente son déroulement dans ce rapport.

I.1. Objectif du mandat

Notre travail est considéré par l'OFROU comme étant une première approche de la problématique d'infiltration des eaux de ruissellement par les bas-côtés. Ses prérogatives concernent l'élaboration :

- d'une fiche technique décrivant les conditions nécessaires à l'infiltration par les bas-côtés le long des routes nationales (au cours de ce rapport nous utiliserons le sigle RN* pour évoquer les routes nationales)
- d'une méthodologie permettant d'évaluer et cartographier le potentiel d'infiltration par les bas-côtés de tout le réseau RN*.
- d'une typologie des bas-côtés en fonction de leurs capacités à infiltrer les eaux de ruissellement
- d'une cartographie du potentiel d'infiltration des eaux de ruissellement au niveau des filiales¹ 1 (filiale d'Estavayer-le-Lac) et 2 (filiale de Thun)² Les cantons qui vont être cartographiés sont les suivants : Genève, Vaud, Valais, Fribourg, Neuchâtel, Berne et Jura (Figure 1 : Filiales au niveau

¹La gestion du réseau RN* est divisée, de façon territoriale, en filiales.

³ Cet écueil est dans tous les cas inévitable du fait de la nature des données pédologiques

desquelles nous avons à cartographier le potentiel d'infiltration des eaux de ruissellement par les bas-côtés.. La marge d'erreur qui a été fixée est de 200 mètres.

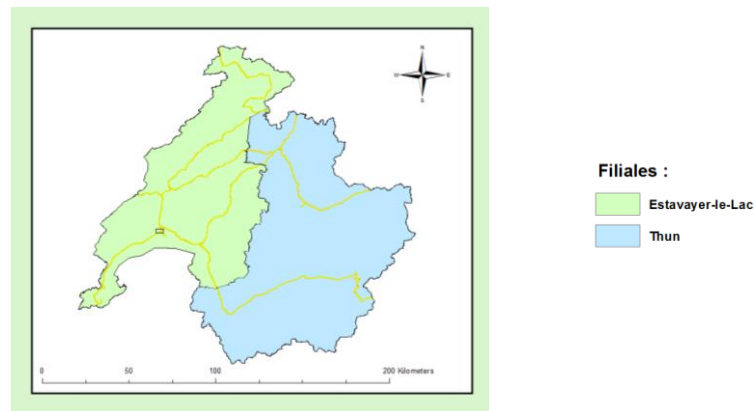


Figure 1 : Filiales au niveau desquelles nous avons à cartographier le potentiel d'infiltration des eaux de ruissellement par les bas-côtés.

I.2. Critères sur lesquels sont basés l'évaluation du potentiel d'infiltration des eaux de ruissellement par les bas-côtés

I.2.1. Critères qui conditionnent l'infiltration des eaux de ruissellement au niveau d'un bas-côté

La première phase du travail a consisté à l'établissement de la fiche technique définissant les conditions d'infiltration des eaux de ruissellement par les bas-côtés. Cette fiche a été élaborée par Pascal Boivin à partir des expériences d'infiltration faites en Valais et de son expérience des sols. Sur la base de cette fiche, nous avons pu définir, de façon précise, les trois critères qui déterminent la capacité d'infiltration des eaux de ruissellement au niveau des bas-côtés, à savoir :

- la géométrie des bas-côtés (profil topologique des bas-côtés)
- l'état de surface des bas-côtés (bâti/non bâti)
- la texture du sol qui constitue les bas-côtés (le pourcentage d'argile et de limon du sol)

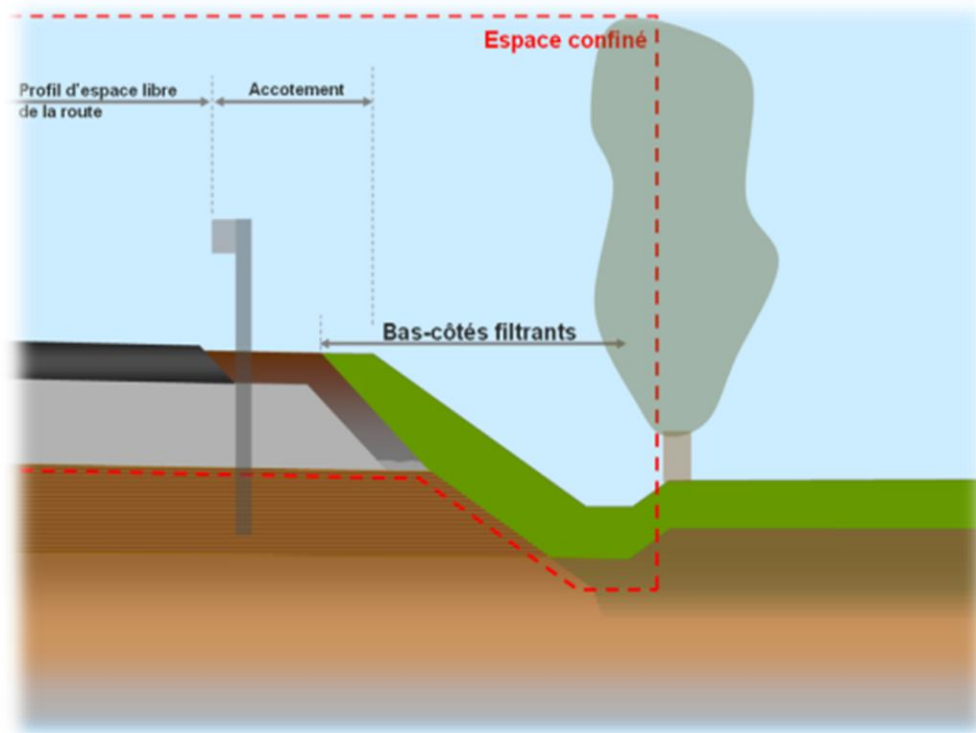


Figure 2 : Représentation schématique d'un bas-côté adapté à l'infiltration des eaux de chaussées

La géométrie ainsi que l'état de surface influencent surtout la capacité que présente le bas-côté à infiltrer l'eau du point de vue mécanique, tandis que la texture joue sur la capacité de rétention des polluants par le sol.

La détermination de la texture d'un sol se fait sur de la « terre » tamisée à 2 millimètres. La texture caractérise la distribution des constituants minéraux du sol tamisé en fonction de leurs diamètres, elle donne en général les pourcentages des différentes classes granulométriques du sol :

- Les argiles (particule de diamètre inférieur à $2\ \mu\text{m}$)
- Les Limons (particule de diamètre allant de 2 à $50\ \mu\text{m}$)
- Les sables (particule de diamètre allant de $50\ \mu\text{m}$ à 2mm)

Les pédologues (spécialiste en étude du sol) évaluent la texture d'un sol à l'aide d'un test tactile qui leur permet de déterminer la classe texturale à laquelle appartient un sol. En Suisse, les différentes classes texturales sont généralement définies par le triangle des textures Suisse (SSP/BGS, 1993).en fonction du pourcentage de limons, d'argiles et de sables que peut présenter un sol.

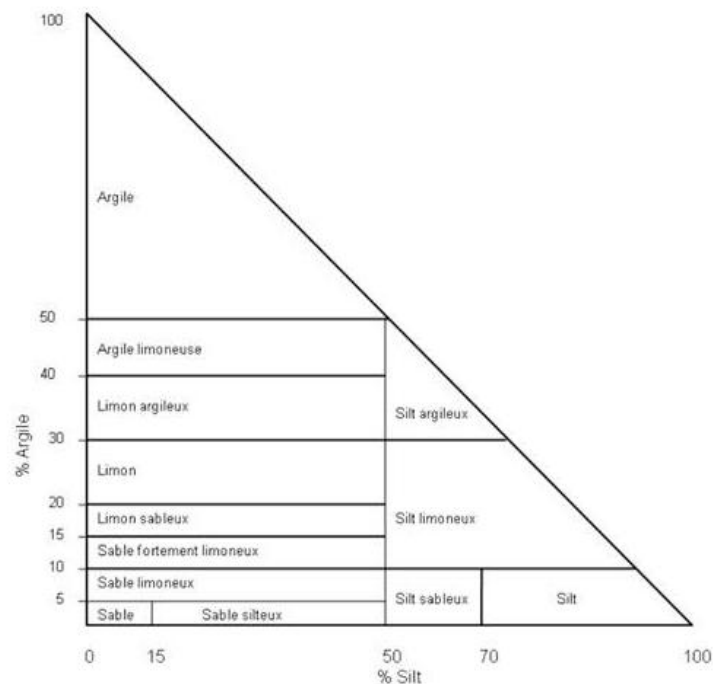


Figure 3 : triangle des textures Suisse montrant le pourcentage en argile, limon et sable des différentes classes texturales suisses (SSP/BGS, 1993)

Dans le cadre de ce mandat, nous allons évaluer la texture des bas-côtés à partir des cartes pédologiques qu'établissent les pédologues. Nous partons du principe que la texture des bas-côtés est potentiellement la même que celle des sols des sols traversés par le réseau RN. Du fait de cette approximation, le critère textural est certainement celui qui va introduire le plus grand biais dans notre évaluation du potentiel d'infiltration par les bas-côtés.

1.2.2. Conditions optimales de l'infiltration des eaux de ruissellement au niveau d'un bas-côté

Les conditions optimales d'infiltration, au niveau d'un bas-côté, ont été définies par la suite comme étant les suivantes :

- au niveau de la géométrie : bas-côtés présentant une pente descendante, au minimum sur 1 mètre de long (route construite en remblai).
- au niveau de l'état de surface : bas-côtés présentant une surface non bâtie
- au niveau de la texture : bas-côtés présentant un sol possédant moins de 25% d'argile et moins de 70% de limon (argile et limon sont des classes granulométriques*définies par rapport aux diamètres des particules minérales, ces termes n'ont rien à voir avec la nature géochimique de ces particules)

1.3. Typologie

A partir des conditions optimales d'infiltration, nous allons définir, pour chaque critère, les conditions qui rendent :

- l'Infiltration possible
- l'infiltration impossible
- l'infiltration potentiellement possible

Ces conditions ne sont pas encore définies en ce qui concerne la géométrie et l'état de surface, en revanche elles le sont pour la texture. Le potentiel d'infiltration en fonction de ce critère va être évalué à partir de cartes pédologiques. Or, les cartes pédologiques ne donnent, en général, pas directement le pourcentage de limon et d'argile que présente un sol. Par contre, elle nous livre des informations au sujet de la classe texturale à laquelle appartient le sol cartographié. En se référant à la Figure 3 : triangle des textures Suisse montrant le pourcentage en argile, limon et sable des différentes classes texturales suisses (SSP/BGS, 1993), nous pouvons remarquer que notre critère de 25% d'argile n'est pas considéré comme étant une limite entre différentes classes. Par conséquent, la classe des « limon » ainsi que celle des « silt limoneux » ne vont donc pas seulement inclure des sols qui présenteront les conditions optimales d'infiltration. Les sols des bas-côtés appartenant à l'une ou l'autre de ces classes présenteront donc des conditions où l'infiltration est potentiellement possible.

Récapitulons :

- Classes texturales rendant l'Infiltration possible

Limon sableux, Sable fortement limoneux, Sable, Sable silteux, Sable limoneux

- Classes texturales rendant l'infiltration impossible.

Argile, Argile limoneux, silt, Limon argileux, Silt argileux.

- Classes texturales rendant l'infiltration potentiellement possible

Limon, Silt argileux

I.4. Objectif de la cartographie du potentiel d'infiltration des eaux de ruissellement par les bas-côtés

Pour l'OFROU, la cartographie du potentiel d'infiltration des eaux de ruissellement au niveau des filiales 1 et 2 a deux objectifs :

- Elle permettra de valider la pertinence de la méthodologie employée, grâce à des points de vérification sur le terrain
- Elle pourra encourager les filiales 1 et 2 à envisager de façon plus systématique la possibilité d'infiltrer les eaux de ruissellement dans les bas-côtés en cas de travaux.

Notre but n'est pas d'identifier de façon extrêmement précise et définitive les bas-côtés aptes et potentiellement aptes à l'infiltration. La marge d'erreur qui a été fixée dans le contrat qui nous lie à l'OFROU en est la preuve! Ce travail de précision incombe aux experts chargés de planifier localement l'infiltration. En revanche, notre étude va permettre aux filiales de cibler l'étendue des expertises.

Dans ce rapport, nous présenterons tout d'abord la méthodologie élaborée pour évaluer et cartographier le potentiel d'infiltration des eaux de ruissellement par les bas-côtés. Puis, nous décrirons les résultats obtenus pour chaque critère ainsi que la nature des problèmes rencontrés. Pour finir nous ferons le point sur le travail accompli et sur le travail à venir, ainsi que sur les données qui ne sont pour l'instant pas encore disponibles qui pourraient améliorer la performance de notre évaluation.

II. Elaboration de la méthodologie

Cette étape était requise par le mandant, or elle est, selon moi, indispensable dans tout projet et d'autant plus lorsque ce dernier nécessite l'utilisation des SIG. Son établissement est un bon moyen d'acquérir une vue d'ensemble des tâches à accomplir et d'être ainsi en mesure de les ordonner dans le temps en fonction de leurs importances et de leurs durées. En outre, son élaboration aide à identifier le type de couches SIG requises pour mener à bien le projet. Voilà, ci-dessous, une vue synthétique des étapes que comprend notre méthodologie (Figure 4 : Vue synthétique des différentes étapes que comprend la méthodologie élaborée pour ce mandat

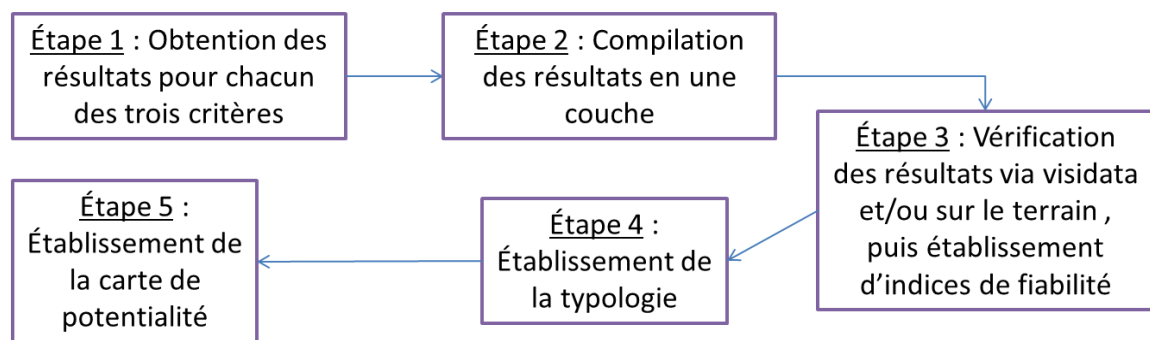


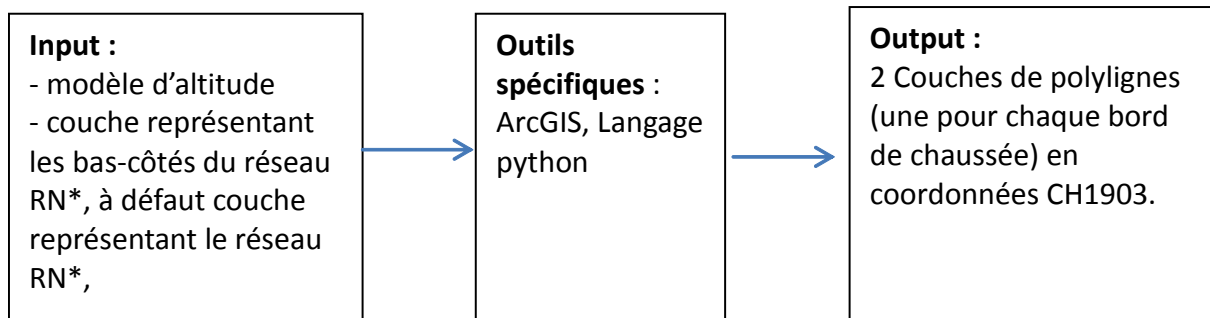
Figure 4 : Vue synthétique des différentes étapes que comprend la méthodologie élaborée pour ce mandat (Visidata est un logiciel qui permet de visualiser les vidéos qui ont été faites sur l'ensemble du tracé des routes nationales, à l'aide de 4 caméras embarquées)

II.1. Etape 1 : Obtention des résultats pour chacun des trois critères

La méthodologie détaillée a consisté à définir les couches en inputs, la forme que devaient prendre les résultats, ainsi que les outils SIG ou autres, nécessaires à l'obtention des résultats pour chacun des trois critères.

II.1.1. La géométrie

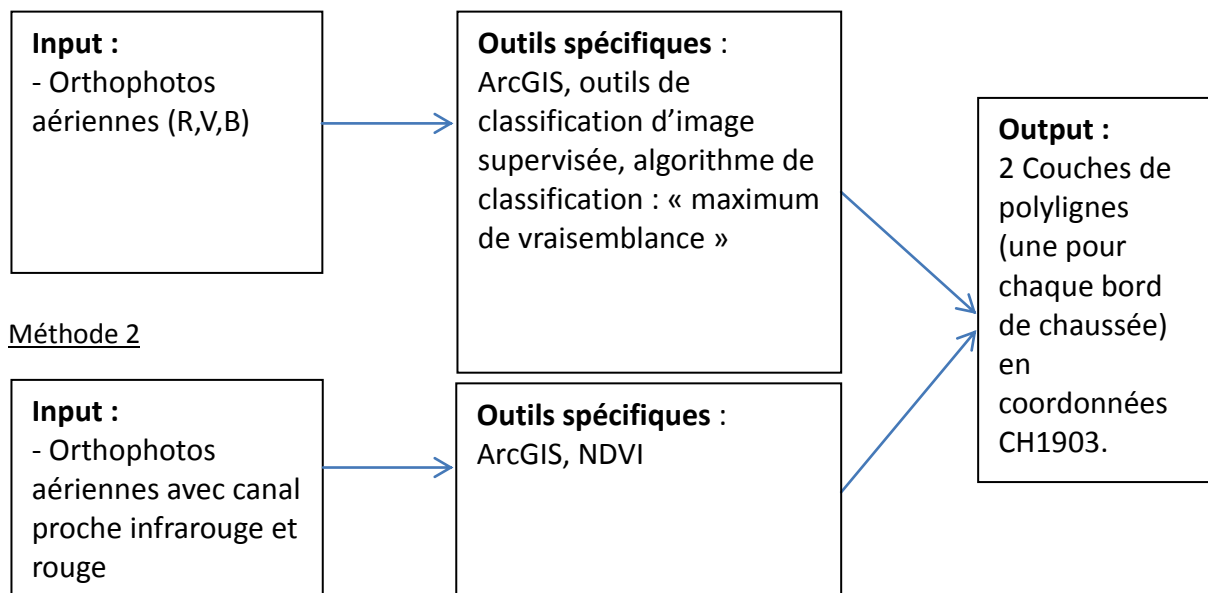
Le but de cette étape est de sélectionner les bas-côtés en déblai (pente descendante) qui sont suffisamment larges pour permettre l'infiltration (minimum 1 mètre de large).



II.1.2. l'état de surface

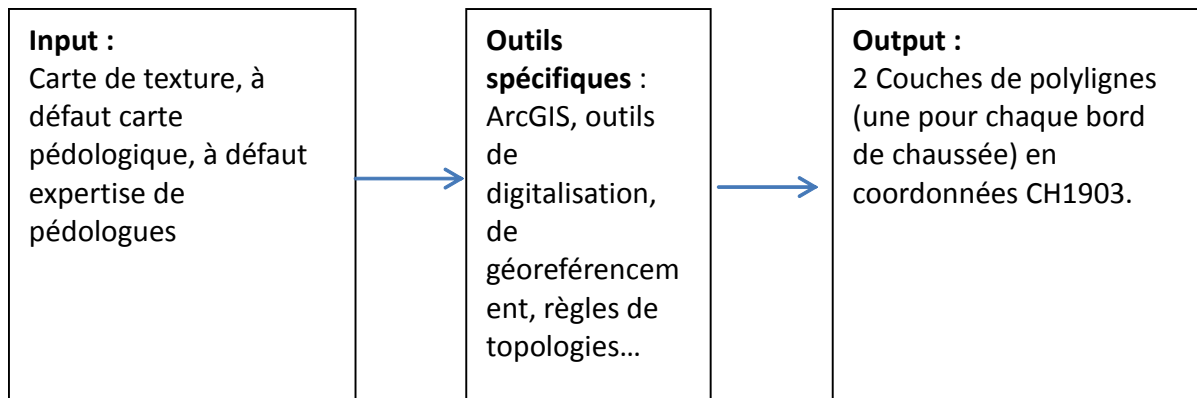
Le but de cette étape est de sélectionner les bas-côtés qui ne présentent pas une surface imperméable, les surfaces imperméables étant les surfaces bâties. Cette étape va donc consister à distinguer les surfaces bâties de celles qui ne le sont pas. Deux méthodes ont été développées ici en raison de l'incertitude au sujet de la disponibilité d'orthophotos présentant un canal infrarouge (proche) au moment du traitement de cette étape.

Méthode 1



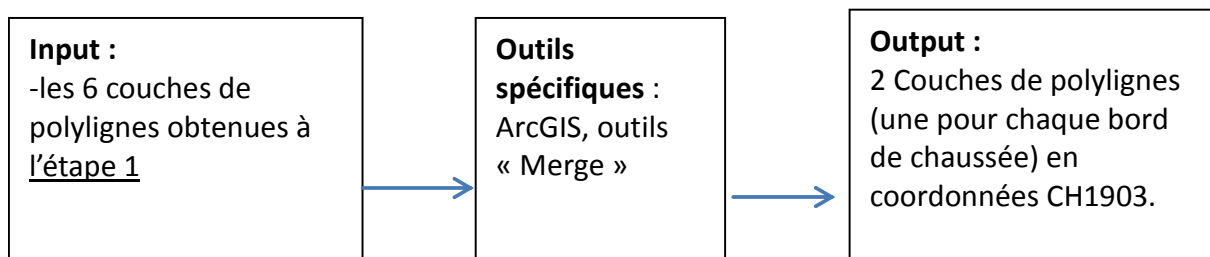
II.1.3. La texture

Le but de cette étape est de sélectionner les bas-côtés qui présentent un sol ayant un pourcentage d'argile strictement inférieur à 25% d'argile et un pourcentage en limon strictement inférieur à 70%.



II.2. Etape 2 : Croisement des résultats pour chacun des trois critères

Le but de cette étape est de compiler en 2 couches de type polygones, les résultats obtenus à l'étape 1. Ces deux couches vont servir de base à l'évaluation du potentiel d'infiltration en fonction des 3 critères.



II.3. Etape 3 : Vérification des résultats sur le terrain, puis établissement d'indices de fiabilité

Cette étape va permettre de vérifier la validité des résultats obtenus pour chacun des trois critères.

Pour ce faire, nous allons relever, la géométrie, l'état de surface et la texture d'un nombre statistiquement représentatif de bas-côtés. Les bas-côtés au niveau desquels l'analyse de terrain sera faite seront distribués de manière aléatoire le long de réseau RN*

Puis nous comparerons, les résultats de terrain, aux résultats théoriques obtenus lors des étapes 1, 2 et 3 afin de calculer des indices de fiabilité par critère. Ces indices nous permettront d'évaluer la pertinence de la méthodologie mise en œuvre pour cette évaluation.

II.4. Etape 4 : Établissement de la typologie

Pour chacun des critères pris séparément, nous prévoyons de classer les bas-côtés de la façon suivante :

- Infiltration possible (oui)
- Infiltration impossible (non)

- Infiltration potentiellement possible (peut-être) Pour ce type de cas, nous créerons un champ qui sera appelé, par exemple, « précisions_ (NOM DU CRITERE) » et qui spécifiera le l'origine de l'incertitude.

A partir de ce pré-classement, nous souhaitons classer les bas-côtés en fonction des résultats obtenus pour l'ensemble des 3 critères dans ces trois catégories :

- Infiltration possible (oui), si les trois critères sont adaptés à l'infiltration
- Infiltration impossible (non), si au moins un des trois critères n'est pas adapté à l'infiltration
- Infiltration potentiellement possible (peut-être), si au moins un des critères est potentiellement inadapté à l'infiltration. Pour ce type de cas, les filiales pourront se référer au 3 champs « précisions » qui spécifieront l'origine de ou des incertitudes.

Tableau 1 : Exemples permettant de comprendre l'obtention de la typologie finale à partir d'une des couches de polygones obtenues à l'étape 2 (oui = infiltration possible, non = infiltration impossible, peut-être = infiltration potentiellement possible)

Identifiant de l'évènement linéaire	Mesure de début	mesure de fin	géométrie	État de surface	Pourcentage d'argile et de limon	Typologie finale	Précisions
1	12	15	oui	oui	oui	oui	
2	15	20	non	oui	oui	non	
3	20	27	peut-être	oui	oui	peut-être	Géométrie pose problème car plate sur 2m

II.5. Etape 5 : Établissement de la cartographie de potentialité

La cartographie qui va résulter de cette étape est le moyen qui nous permet de communiquer les résultats que nous aurons obtenus. Elle porte sur l'ensemble du territoire géré par les filiales 1 et 2 et devra présenter une marge d'erreur de 200m maximum.

La cartographie, présentera une « symbologie » et une légende liées à la typologie établie à l'étape 4 (II.4. Etape 4 : Établissement de la typologie). Les couches qui composent la cartographie seront livrées sous format « shapefile » au sein d'une geodatabase au format « .gdb ». En outre, un fichier « .mxd » sera fourni et permettra d'ouvrir la cartographie finale avec les symbologies adéquates, qui seront consignées dans des fichiers « .lyr ». Afin de simplifier la tâche du mandataire, nous lui donnerons les instructions permettant d'ouvrir le fichier « .mxd » avec la bonne « symbologie ». Un rapport livrant notre diagnostic et nos recommandations concernant les conditions d'infiltrations des eaux de ruissellement par les bas-côtés accompagnera cette cartographie.

III. Application de la méthodologie

III.1. Données utilisées

Notre étude porte sur sept cantons suisses qui agissent de manière indépendante en ce qui concerne l'acquisition et la modification de données SIG sur leur territoire. Pour prendre connaissance des données disponibles par canton, j'ai tout d'abord utilisé l'interface de site www.geocat.ch[2]. Lors de l'utilisation de cet interface, je me suis rendue compte de la difficulté liée à la recherche de données pour différents cantons. J'ai relevé deux problèmes majeurs concernant l'utilisation de ce site, qui est tout de même une excellente initiative de centralisation des données SIG disponibles en Suisse. Le premier est dû à la jeunesse du site qui date de 2004 et qui fait que l'ensemble des données SIG cantonales n'est pas ou mal répertorié. En effet, il arrive que les données soient bien répertoriées, mais mal renseignées. Par exemple, si l'on souhaite voir quelles sont les données SIG que présente le canton de Genève en renseignant uniquement le champ « canton » du moteur de recherche de « géocat », seul 26 couches du SITG apparaissent (système d'information du territoire genevois). Or si l'on tape « SITG » dans le champ « recherche libre » le listing de 533 couches s'affiche ! Notons que les données SIG fédérales sont relativement bien répertoriées, bien que souvent non traduites en français...



copie d'écran 1 : Résultat de la recherche concernant l'ensemble des données SIG genevoises

Le deuxième problème majeur est que les cantons utilisent des terminologies différentes pour désigner des couches qui sont pourtant élaborées de la même manière ! Je suis donc allée visiter l'ensemble des sites internet et cantonaux pour vérifier la disponibilité des données qui pourraient nous être utiles.

Les recherches nous ont amenés à constater de grandes disparités entre les cantons notamment du point de vue de l'offre et de la qualité des données à disposition. Or pour cette étude, nous souhaitons minimiser au maximum les différences de qualité au niveau des résultats en fonction des cantons³. Par conséquent, nous avons souvent été contraints d'utiliser les données disponibles pour l'ensemble des cantons mais qui avaient l'avantage d'être de qualité uniforme. Ce choix revient à baisser la qualité de ce qu'aurait pu être les résultats au niveau de certains cantons.

À la base, nous souhaitons limiter l'étude aux bas-côtés des filiales 1 et 2. Pour cela, nous avons besoin d'avoir des informations au sujet de la géo-localisation de ces bas-côtés. Nous pensions trouver cette information au sein du jeu de données OFROU. Or, ce dernier est principalement

³ Cet écueil est dans tous les cas inévitable du fait de la nature des données pédologiques

adapté à l'objectif principal de l'office, à savoir : « Garantir le bon fonctionnement du réseau des routes nationales et principales »[3]. Par conséquent, les objets contenus dans les différentes couches ne sont pas nécessairement bien positionnés par rapport à la réalité. L'important pour l'OFROU est que les objets soient bien calés par rapport aux axes des routes qui sont référencés linéairement. Avec le jeu de données de l'OFROU, il nous est donc impossible de géo-localiser les bas-côtés pris en compte dans le cadre l'étude. Pour limiter géographiquement notre étude, nous nous sommes donc contentés de créer un masque (50m de part et d'autre du réseau) à partir de la couche représentant l'axe des RN* dans les deux sens de circulation (« feature class » de polygones mesurées issues de la base de données OFROU).

Le Tableau 2 : Liste des couches SIG utilisées, ci-dessous, récapitule la liste des données SIG finalement utilisées pour mener à bien ce mandat.

Tableau 2 : Liste des couches SIG utilisées

Cadre d'utilisation	Couche de base	Etendue géographique	nature	source
Pour localiser la chaussée du réseau RN* et pour faire un masque de 50m de part et d'autre du réseau.	Axes des RN* dans les deux sens de circulation	Suisse	Vectorel (polygones mesurées)	Base de données OFROU
Pour la géométrie	« swissALT13D »	Suisse	raster	swisstopo
Pour l'état de surface	Swissimage FCIR	Suisse	raster	swisstopo
Pour la texture	Pédologie	Partie du canton de Berne	Vectorel (polygones)	État de Berne
	Pédologie	Partie du canton de Vaud	Vectorel (polygones)	État de Vaud
	Pédologie	Partie du canton de Genève	Vectorel (polygones)	État de Genève (SITG)
Pour faire un masque excluant les zones de ponts et de tunnels	Objets d'inventaires (comprend toutes les infrastructures de la chaussée)	Suisse	Vectorel (polygones)	Base de données OFROU

III.2. Déroulement du travail

III.2.1. La Géométrie

Pour l'instant, c'est Alain Dubois qui gère la sélection des bas-côtés adaptés à l'infiltration, en fonction de la géométrie. Il a choisi d'extraire des profils topologiques de part et d'autre des RN*, de façon automatisée, tous les X mètres (X= 100 ou 200, ce paramètre n'est pas encore fixé), à partir du modèle d'altitude swissalti3D. Pour le moment, Alain a élaboré un script en langage python qui permet :

- 1) De tracer des profils, tous les 100m, de part et d'autre des RN*

- 2) D'extraire les altitudes à partir du modèle d'altitude swissalti3D le long de ces profils
- 3) De calculer une moyenne mobile le long des profils
- 4) De déterminer, à l'aide de ces moyennes mobiles, où se situe le bord de la chaussée. Le problème est que cette méthode ne fonctionne pas lorsque le bas-côté est de type plat, puisqu'elle est basée sur les différences d'altitudes calculées entre deux moyennes mobiles qui se succèdent.

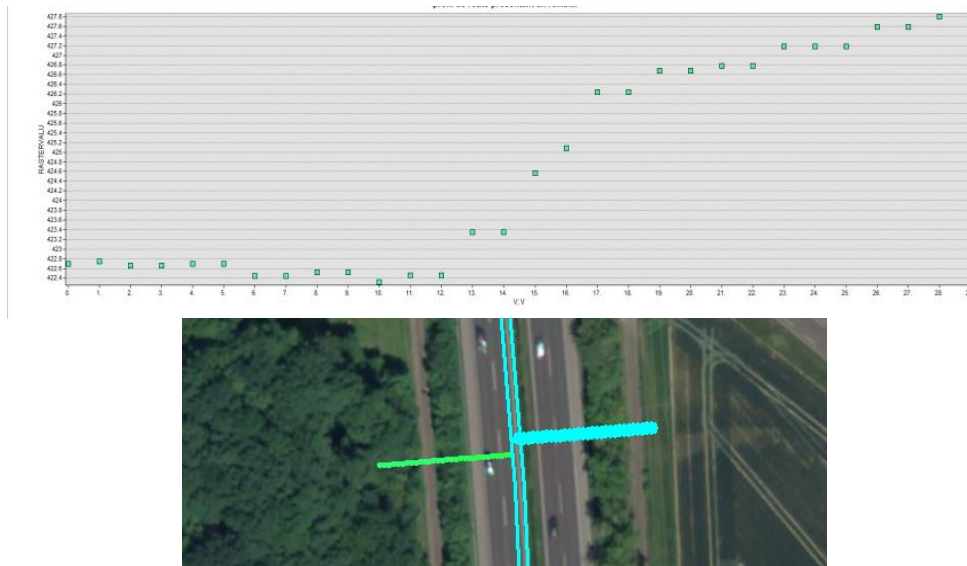


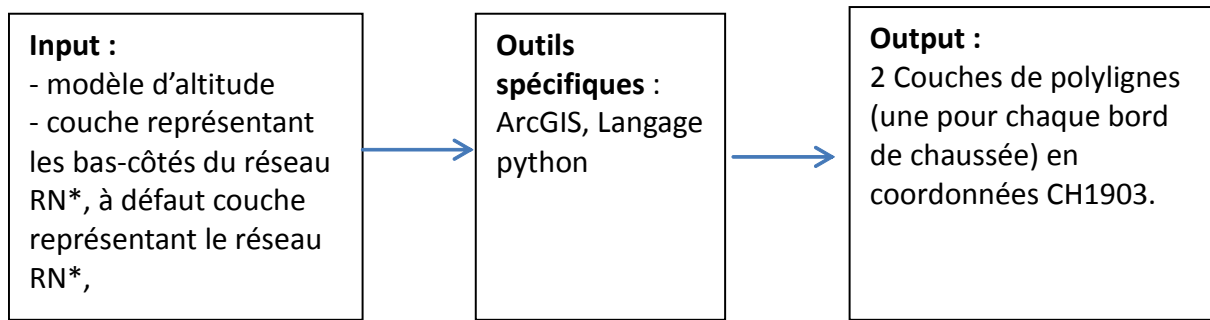
Figure 5 : exemple profil obtenu à l'aide du script d'Alain Dubois (source : A.Dubois)

L'évaluation de l'infiltration en fonction de la géométrie est compliquée du fait de l'absence de données nous permettant de localiser le bord de la chaussée. Une fois ce problème résolu grâce aux résultats obtenus lors de l'analyse de l'état de surface, il nous restera à élaborer une méthode statistique nous permettant de regrouper les profils topologiques obtenus grâce au script d'Alain Dubois en 3 catégories :

- bas-côtés présentant une géométrie rendant l'infiltration possible
- bas-côtés présentant une géométrie rendant l'infiltration impossible
- bas-côtés présentant une géométrie rendant l'infiltration potentiellement possible

III.2.2. L'état de surface

Cette tâche n'est pas encore accomplie, seuls quelques tests basés sur la méthode n°1 (partie



II.1.2. l'état de surface) ont été effectués. Les tests ont été réalisés à partir des orthophotos aériennes « SWISSIMAGE » délivrée par Swisstopo. Ces orthophotos possèdent 3 canaux : le rouge, le vert et le bleu. Afin de distinguer le bâti du non-bâti sur ces images en format raster, nous avons essayé la méthode de classification supervisée. Cette méthode est basée sur les capacités de discrimination de l'œil humain, puisque la première phase consiste à sélectionner manuellement des zones bien distinctes de l'image qui correspondront aux classes que nous souhaitons distinguer. Ces zones sont appelées « échantillons d'apprentissage ». Sur la base de ces derniers, nous allons être en mesure de créer un fichier de signatures spectrales qui résume les caractéristiques de chacune des classes. Pour finir, ce fichier de signatures est utilisé par un algorithme de classification afin de rattacher chaque pixel de l'image à une classe. Dans notre cas, nous avons seulement testé l'algorithme appelé « maximum de vraisemblance ». Ce dernier ne tient pas compte de la texture de « l'échantillon d'apprentissage » ce qui pourtant pourrait être un bon moyen de discrimination entre le bâti et le non-bâti. Il se fie surtout à la couleur des pixels que comprend la zone. Par conséquent, les zones d'ombres sur la chaussée posent problèmes car elles possèdent une couleur beaucoup plus foncée que celle du bitum. En conclusion, la classification d'image est tout un art qui prend beaucoup de temps, d'une part lors de la réalisation et d'autre part pendant la phase de production. En faisant un test, j'ai constaté que la classification d'une tuile à l'aide du maximum de vraisemblance pouvait durer 4h. Elle peut même durer plus longtemps en fonction du nombre et de la taille des échantillons d'apprentissage décrits dans le fichier de signatures spectrales.

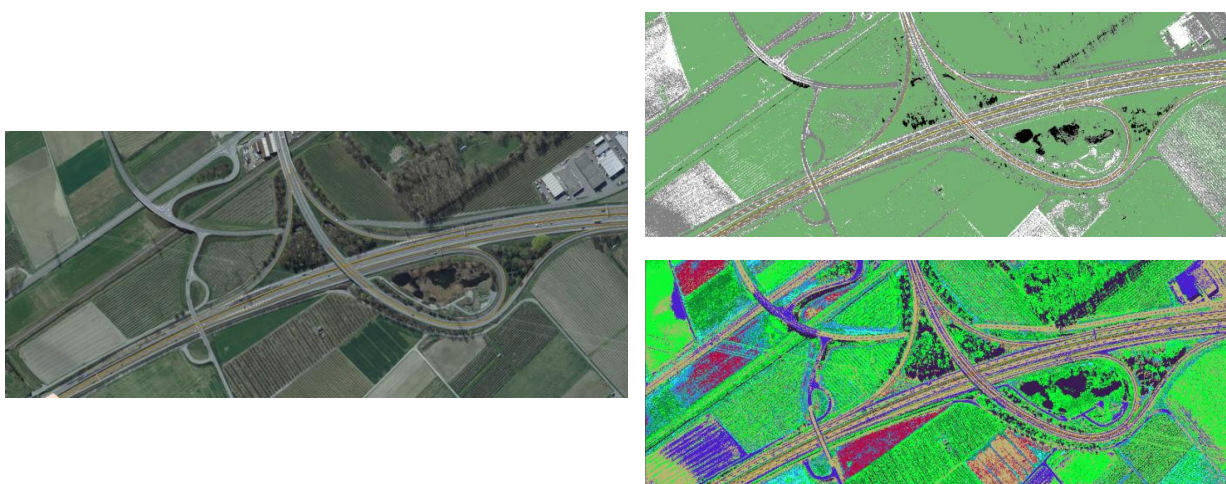


Figure 6 : deux exemples de classification supervisée à l'aide de fichier de signatures spectrales différents (source : K. Gondret)

La méthode décrite précédemment ne nous a donc pas convaincue. Cependant il existe d'autres moyens très performant et très rapide permettant de distinguer ce qui est végétalisé de ce qui ne

l'est pas. Le plus connu est appelé « indice de végétation » (NDVI). Nous n'avons pas eu recours à cette méthode au début du mandat car elle requiert l'utilisation d'orthophotos possédant le canal proche infrarouge, qui n'était alors pas disponible sur l'ensemble de la zone d'étude. Or, dorénavant il l'est ! L'indice de végétation ne nécessite pas l'utilisation d'algorithme de classification, il s'agit d'un simple calcul fait sur chaque pixel, à partir de deux canaux (proche infrarouge et rouge visible). En ce sens, cette méthode est beaucoup plus rapide que la méthode de classification décrite plus haut, en outre elle peut désormais être réalisée sous arcGIS10. Le calcul du NDVI est décrit ci-dessous :

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

NDVI : indice de végétation, NIR : proche infrarouge, VIS : rouge se trouvant dans le spectre du visible

Cet indice est basé sur les propriétés réfléchies des végétaux. Il repose sur « le contraste des caractéristiques de deux canaux d'un jeu de données raster multispectral : l'absorption du pigment chlorophyllien dans le canal rouge et la haute réflectivité des matières végétales dans le canal proche infrarouge (NIR) » [4]. La Figure 7 : signatures spectrales illustre les différences de réflectance entre la chlorophylle et les végétaux en eux même.

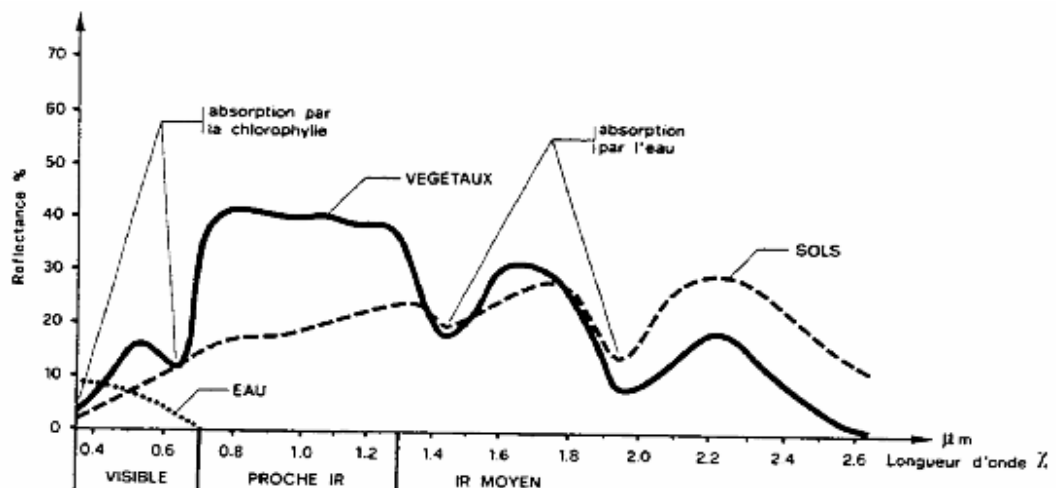


Figure 7 : signatures spectrales [5]

III.2.3. La texture

Cette tâche est aujourd'hui terminée. Contrairement à ce qui était prévu par la méthodologie le résultat obtenu est sous la forme d'une couche de polygones, représentant un des axes des chaussées sur l'ensemble du territoire que comprennent les filiales 1 et 2. Cette différence est due à l'absence de données concernant le bord de la chaussée mais ne change rien au résultat final. En effet, il suffira que je fasse un « buffer » (paramètre : flat) de cette couche pour être en mesure de la croiser (outil « intersect ») avec celles résultant des deux autres critères.

Ci-dessous, voilà la description détaillée des différentes étapes qui ont permis d'aboutir à la couche de polygones renfermant les données texturales utiles pour le projet.

III.3. Acquisition des données pour la création de la carte des textures

Afin d'évaluer la capacité d'infiltration des bas-côtés des RN* du point de vue du pourcentage d'argile et de limon, nous avons besoin de connaître la texture des sols traversés par les différentes RN* des cantons étudiés. Malheureusement ces cantons présentent des données complètement disparates en ce qui concerne les sols. Il ne fût pas simple, au sein de chaque canton, d'identifier l'interlocuteur capable de donner les bonnes informations concernant l'existence et/ou la disponibilité de données pédologiques pouvant me renseigner sur la texture des sols traversés par les autoroutes. Une fois les informations au sujet des données disponibles obtenues, il me fallait partir en déplacement au sein des cantons pour acquérir ces données qui se trouvaient souvent sous forme papier. Mis à part Genève, qui est le plus petit canton étudié, seul le canton de Vaud possède des données pédologiques qui portent sur l'ensemble de son territoire (format papier et/ou SIG). Pour effectuer l'évaluation au niveau de l'ensemble des cantons que comprend l'étude, j'ai donc utilisé les données pédologiques localement disponibles et j'ai complété ces données à l'aide d'expertises émises par des pédologues. Seul le Jura a constitué une exception. Ce dernier ne présentait pas de carte pédologique sur l'ensemble de son territoire, pourtant je n'ai pas eu besoin de faire appel à un expert. La raison est que la route nationale qui traverse le Jura (N16) a fait l'objet, avant sa construction, d'une étude d'impact environnementales (EIE*) comportant une partie très précise sur les sols. Malheureusement, rares sont les EIE* disponibles au niveau des RN* étudiées, du fait de l'âge des constructions. Les experts sollicités n'ont jamais été les mêmes personnes que celles qui avaient été contactées en premier lieu au sujet des données pédologiques existantes. Par conséquent, il m'a fallu consacrer encore du temps à identifier les experts en pédologie capables de me renseigner au sujet des sols traversés par les routes nationales. Au total cette partie a duré 3 mois (traitements SIG compris).

Tableau 3 : données cantonales ayant été utilisées pour évaluer la texture des bas-côtés

Cantons	Carte pédologique présentant une échelle inférieure au 1/25'000	Carte pédologique présentant une échelle supérieure au 1/25'000	expertise
Genève	oui	non	non
Vaud	oui (couverture partielle du canton)	oui*	non
Fribourg	oui (couverture partielle du tracé des RN*)	non	oui*
Neuchâtel	non	non	oui*
Jura	oui (issues de l'EIE* faite pendant les travaux de l' A16)	non	non
Valais	non	non	oui*
Berne	oui (couverture partielle du tracé des RN*)	non	oui*

*En rouge données obtenues sous format papier

III.4. Préparation des données : création d'un couche constituée d'une seule polyligne, représentant le réseau des routes RN*

Pour ce travail, la texture n'a besoin d'être renseignée qu'au niveau d'un seul axe car nous partons du postulat que la texture est la même de part et d'autre des RN*. Dans ce but, j'ai besoin d'une

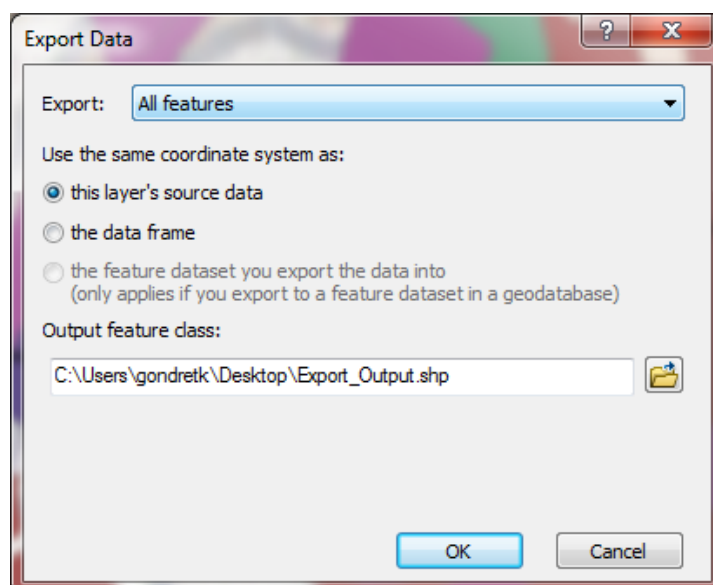
couche contenant un seul axe du réseau RN* sur l'ensemble de la zone d'étude. C'est pourquoi, j'ai modifié la couche représentant le réseau RN* que nous a livré l'OFROU. Cette couche est organisée de la façon suivante :

- Les axes sont constitués de polylignes
- Les routes à chaussées séparées sont représentées par deux axes
- Les routes à chaussées bi-directionnelles sont représentées par un axe.

La table attributaire de cette couche possède un champ qui porte l'alias suivant : « positionscode ». Ce champ est renseigné pour chaque polyligne, par le signe « + », ou « - », ou encore par le signe « = ». Les polylignes appartenant aux axes des routes à chaussées séparées sont affectées du signe « + » ou « - », qui donne une indication concernant le sens de circulation. Les polylignes appartenant à l'axe des routes à chaussées bi-directionnelles sont affectées du signe « = ».

Afin de n'avoir qu'un seul axe pour représenter l'ensemble du réseau, j'ai choisi tout d'abord de sélectionner toutes les polylignes présentant le signe « + ». (Sélection par attribut). Le choix du signe « + » est arbitraire.

Avant d'ajouter à cette sélection l'ensemble des polylignes présentant le signe « = », j'ai souhaité étudier la nature de ces tronçons. Spécifions que notre étude porte uniquement sur les axes principaux du réseau RN. Après avoir sélectionnés (sélection par attribut) et triés ces tronçons en fonction de leurs longueurs croissantes, je me suis aperçue que notre étude ne concernait pas les tronçons « = » de longueur inférieure à 6000 mètres. Par conséquent, j'ai créé une requête permettant de sélectionner l'ensemble des polylignes « + » ainsi que l'ensemble des polylignes « = » de longueur supérieure à 6000 m. Une fois cette sélection faite, j'ai utilisé l'outil arcGIS « create layer from selected features » (click droit sur la couche contenant la sélection dans « table of contents », puis aller sur l'onglet « selection »). Ainsi, une nouvelle couche s'affiche dans « table of content » à partir de laquelle j'ai créé le shapefile qui me servira à renseigner la texture sur l'ensemble du réseau RN* (click droit sur la couche contenant la sélection, aller sur « data », puis « export data »).



Copie d'écran 2 : Interface permettant de transformer la sélection en shapefile

Le shapefile ainsi obtenu est modifié à l'aide de l'outil « dissolve » dans le but de créer la couche représentant l'ensemble du réseau par une seule polyligne. Nous obtenons ainsi une couche au format shapefile. J'ai ensuite copié et renommé ce shapefile « RN_swisstopo » afin de lui ajouter les champs de type « text » requis pour le renseignement de la texture. Les champs ajoutés sont décrits dans le tableau ci-dessous.

Champs	définitions
« Texture »	Texture relevées à partir des sources
« Triangle »	Nature du triangle textural qui a été utilisé par les sources
« Résultat »	ce champ donne le diagnostic concernant l'infiltration en fonction de la texture relevée : <ul style="list-style-type: none"> - infiltration possible (oui), - infiltration impossible (non), - infiltration potentiellement possible (peut-être)
« Source »	Sources précises à partir de laquelle j'ai extrait les informations texturales.
« Source simple »	Regroupe les sources précises en 3 catégories plus larges
« Vérification »	champ rempli uniquement lorsque le champ « résultat » est caractérisé par la mention « peut-être ». Il permet au mandant d'avoir plus de précision concernant la nature de l'incertitude.

Tableau 4 : Champs que présente la couche "route_nationale_texture"

Pour chacun des champs, j'ai créé des domaines au niveau de la géodatabase contenant la couche « RN_swisstopo ».

Database Properties

General Domains

Domain Name	Description
LV_TYPE_SOL	
LV_UTILISATION	
résultat	
source	
source simple	
source_1	
texture	
TLM_BOOLEAN_CD	
TI M FINRAHN CN	

Domain Properties:

Field Type	Text
Domain Type	Coded Values
Split policy	Default Value
Merge policy	Default Value

Coded Values:

Code	Description
1	d'après carte présentant une échelle inférieure au
2	d'après carte présentant une échelle supérieure ou
3	expertise

OK Annuler Appliquer

Database Properties

General Domains

Domain Name	Description
LV_TYPE_SOL	
LV_UTILISATION	
résultat	
source	
source simple	
source_1	
texture	
TLM_BOOLEAN_CD	
TI M FINRAHN CN	

Domain Properties:

Field Type	Text
Domain Type	Coded Values
Split policy	Default Value
Merge policy	Default Value

Coded Values:

Code	Description
196_Neuville	196_Neuville(BE) cartesol_1/5'000_1985
1002_Koppingen	1002_koppingen_cartesol_1/5'000_1996
12_Vaud_Haerberli	12_Vaud_Haerberli_Carte_écologique_physiographi
carte_sol_Vaud	carte_sol_Vaud_sevice_cantonal_de_l'aménageme
Degoumois	entretien avec Mr Degoumois
Dououd	entretien avec Mr Dououd

OK Annuler Appliquer

Database Properties

General Domains

Domain Name	Description
LV_TYPE_SOL	
LV_UTILISATION	
résultat	
source	
source simple	
source_1	
texture	
TLM_BOOLEAN_CD	
TLM_FINRAHN_CD	

Domain Properties:

Field Type: Text

Domain Type: Coded Values

Split policy: Default Value

Merge policy: Default Value

Coded Values:

Code	Description
S	Sable
Su	Sable silteux
Sl	Sable limoneux
Sff	Sable fortement limoneux
Ls	Limon sableux
L	Limon

OK Annuler Appliquer

Database Properties

General Domains

Domain Name	Description
LV_TYPE_SOL	
LV_UTILISATION	
résultat	
source	
source simple	
source_1	
texture	
TLM_BOOLEAN_CD	
TLM_FINRAHN_CD	

Domain Properties:

Field Type: Text

Domain Type: Coded Values

Split policy: Default Value

Merge policy: Default Value

Coded Values:

Code	Description
oui	oui
non	non
sous réserve	sous réserve

OK Annuler Appliquer

Database Properties

General Domains

Domain Name	Description
TLM_STRASSE_KUNSTB	
TLM_STRASSE_MINIMAL	
TLM_STUFE_CD	
TLM_TROTTOIR_CD	
TLM_VERKEHRSBESCH	
triangle	
verification	

Domain Properties:

Field Type: Text

Domain Type: Coded Values

Split policy: Default Value

Merge policy: Default Value

Coded Values:

Code	Description
SSP	triangle textural de la Société suisse de pédologie
GEPPA	triangle textural GEPPA 1963
FAP 1986	triangle textural Reichenholz 1986
FAO 1968B	triangle textural FAO 1968B

OK Annuler Appliquer

Database Properties

General Domains

Domain Name	Description
TLM_STRASSE_KUNSTB	
TLM_STRASSE_MINIMAL	
TLM_STUFE_CD	
TLM_TROTTOIR_CD	
TLM_VERKEHRSBESCH	
triangle	
verification	

Domain Properties:

Field Type: Text

Domain Type: Coded Values

Split policy: Default Value

Merge policy: Default Value

Coded Values:

Code	Description
nécessaire	risque d'occurrence de poche d'argile, ou de non pe
aucune	aucune

OK Annuler Appliquer

Copie d'écran 3 : domaines créés pour chacun des champs de " RN_swisstopo "

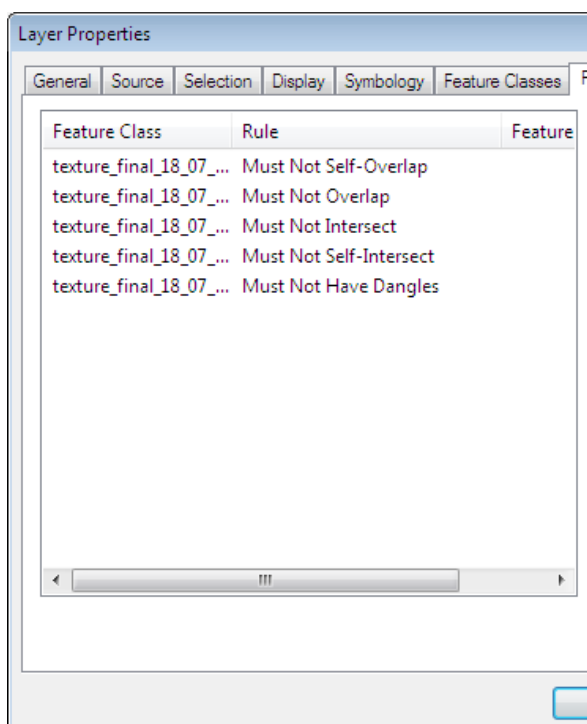
L'élaboration de la couche textural des sols Vaudois traversés par les autoroutes est détaillée en Annexe II.

III.5. Obtention et validation de la couche de type polyligne renfermant les informations texturales pour l'ensemble des cantons

A l'aide des outils décrits dans la partie

VII.2.3. Création de la couche contenant les textures , j'ai complété la couche obtenue pour le canton de Vaud avec les données texturales des autres cantons que comprend la zone d'étude. Pour finir, j'ai souhaité contrôler différentes relations spatiales au sein de cette couche nommée « Texture_finale ».

- Etape 1 : J'ai copié la couche nommée « Texture » dans une « feature dataset » (jeu de classe d'entité) précédemment créé.
- Etape 2 : J'ai créé une topologie pour ce« featuredataset »(outil :« CreateTopology_management »)
- Etape 3 : J'ai ajouté 6 règles à la topologie précédemment créée (outil « AddRuleToTopology_management»)



Description des règles topologiques choisies :

- « Must Not Self Overlap »= «Ne doivent pas s'auto-superposer »
- « Must Not Overlap »= «Ne doivent pas se superposer »
- « Must Not Intersect » = « Ne doivent pas être sécantes »
- « Must Not self Intersect » = « Ne doivent pas être auto-sécantes »
- « Must Not Have Dangles » = « Ne doivent pas avoir de nœuds pendants »
« L'extrémité d'une ligne doit être en contact avec une autre ligne ou elle-même au sein d'uneclasse d'entités ou sous-type. »

J'ai contrôlé les erreurs de topologie avec la « topology toolbar » après être passée en « mode édition » Copie d'écran 5 : "Topology toolbar".



- Les résultats concernant Neuchâtel ne sont pas présentés ici, car ils n'ont pas encore été validés par Judit Bez-Deck (pédologue qui a suivi les fouilles archéologiques qui ont été faites lors de la construction de l'autoroute neuchâteloise).

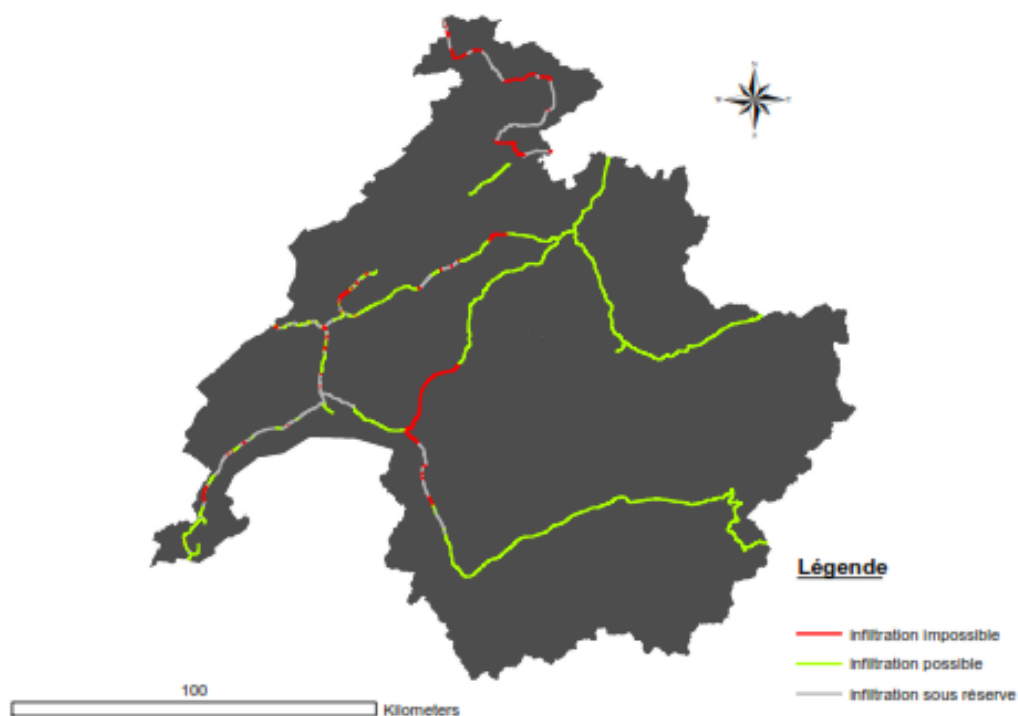


Figure 8 : Diagnostic d'infiltration des eaux de chaussées par les bas-côtés des autoroutes, d'après le critère textural, au niveau des filiales d'Estavayer-le-lac et de Thune



Figure 9 : Diagnostic d'infiltration des eaux de chaussées par les bas-côtés des autoroutes, d'après le critère textural, au niveau du canton de Genève

Après avoir établi la carte présentée en figure 7, j'ai utilisé l'outil « ERASE » afin d'enlever les zones de tunnels et de ponts que comprend le réseau RN, car ces ouvrages d'art ne doivent pas être pris en compte dans notre étude étant donné qu'ils ne présentent pas de bas-côtés. Le résultat est visible figure 10.

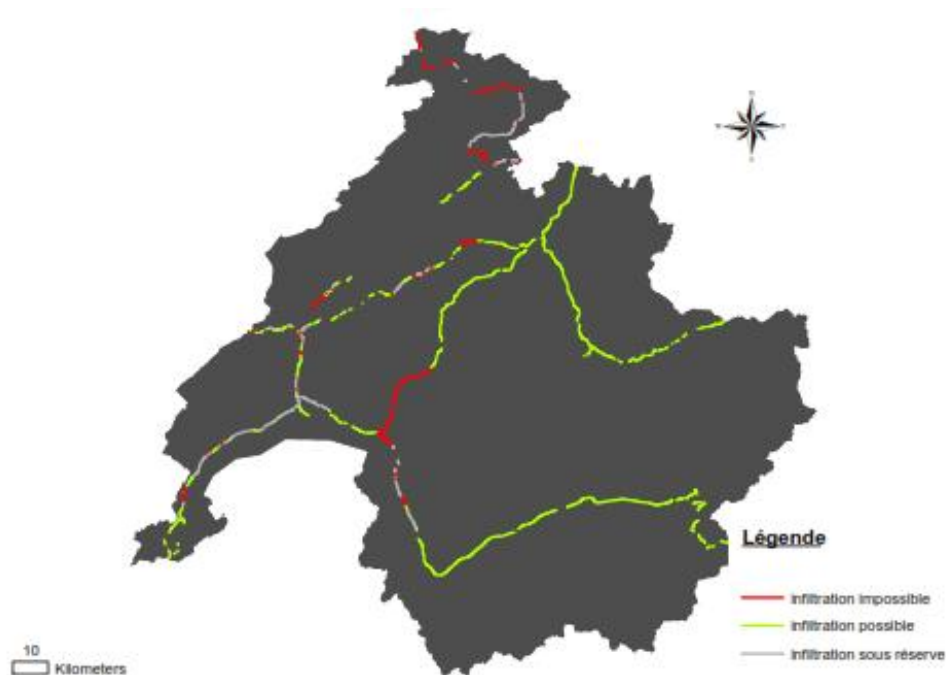


Figure 10 : Diagnostic d'infiltration des eaux de chaussées par les bas-côtés des autoroutes, d'après le critère textural, au niveau des filiales d'Estavayer-le-lac et de Thune, après avoir extrait les zones de ponts et de tunnels.

A partir de la table attributaire de la couche présenté au sein de la figure 9, j'ai calculé la proportion du réseau où l'infiltration est possible, impossible ou potentiellement possible grâce aux résumés statistiques présentés ci-dessous.

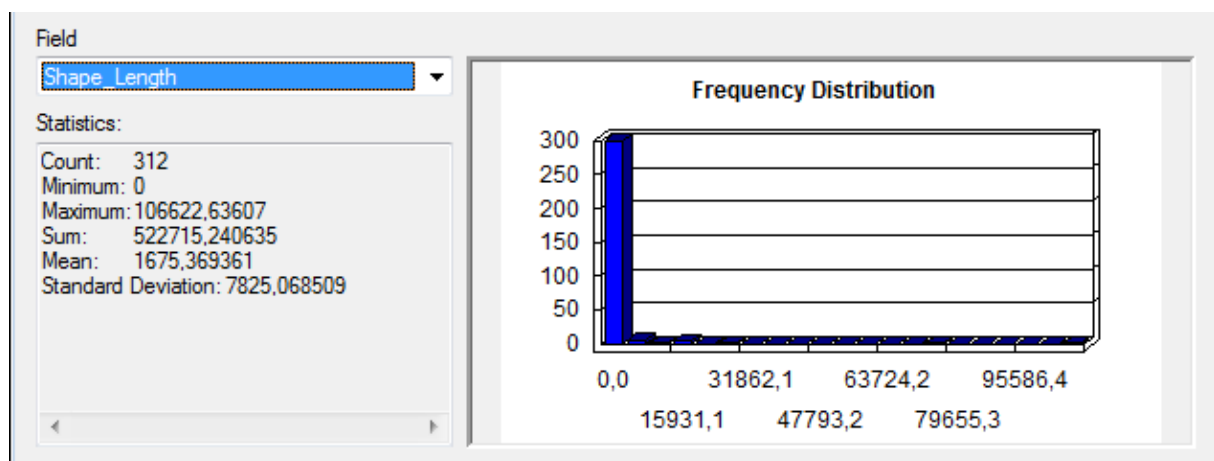


Figure 11 : Résultats statistiques donnant la longueur totale (en m) de la couche de polygones renfermant les données texturales des sols traversés par les autoroutes, après extraction des zones de ponts et de tunnels.

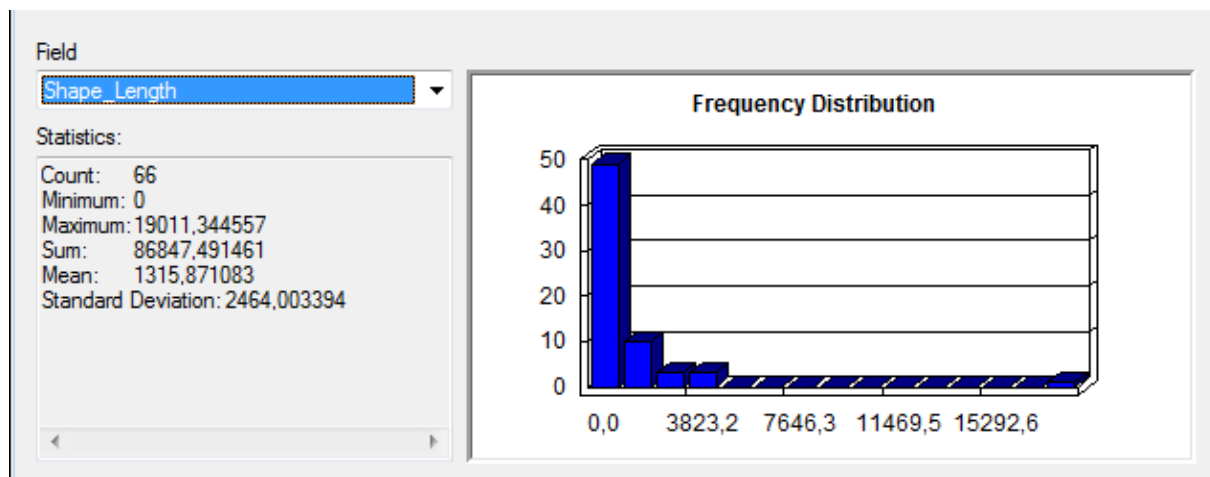


Figure 12 : Statistiques donnant la longueur des tronçons où l'infiltration n'est pas possible du point de vue de la texture (en m)

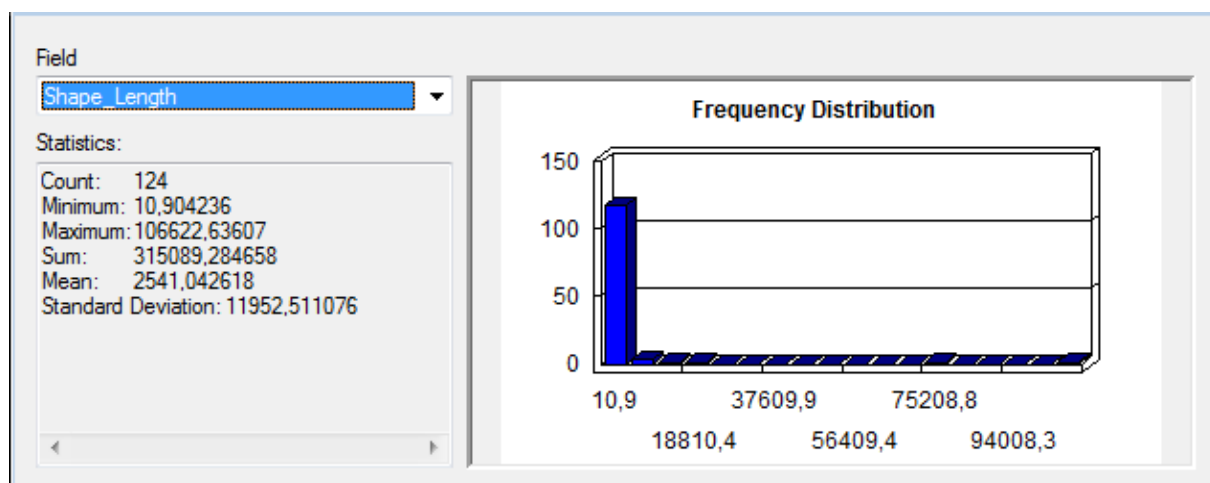


Figure 13 : Statistiques donnant la longueur des tronçons où l'infiltration est possible du point de vue de la texture (en m)

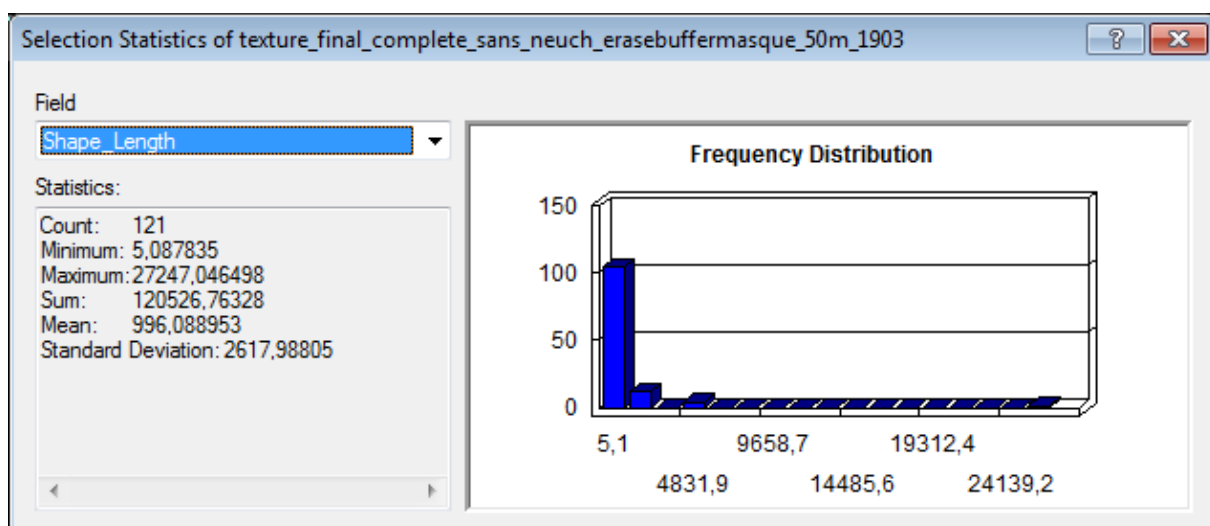


Figure 14 : Statistiques donnant la longueur des tronçons où l'infiltration est potentiellement possible du point de vue de la texture (en m)

En résumé, sur environ l'ensemble de la zone d'étude sans compter le canton de Neuchâtel, d'après les données et les expertises pédologiques récoltées, l'infiltration des eaux de chaussées dans les bas-côtés du point de vue textural est possible sur 60% du réseau, en revanche elle semble être impossible sur 17% du réseau. Les derniers 23% du réseau sont des tronçons où l'infiltration est potentiellement possible.

Si mes prévisions sont bonnes, la texture du sol autorise l'infiltration sur la majorité du réseau des filiales de Thune et d'Estavayer. Mais n'oublions pas que la texture n'est pas le seul critère qui conditionne l'infiltration. Maintenant que j'ai commencé les vérifications de mes prévisions sur le terrain, je m'aperçois que c'est la géométrie qui va, dans la plupart des cas, empêcher l'infiltration car les autoroutes suisses sont souvent construites en déblais.

III. 7. Distribution des points de vérification des résultats sur le terrain le long de la couche de type polyligne renfermant les informations texturales pour l'ensemble des cantons

Pour créer les points d'échantillonnage de manière aléatoire le long du réseau RN, j'ai utilisé l'outil «create random points».

D'une part, nous voulions savoir si la différence entre les données de terrain et les données prédites dépendaient du type de résultat d'infiltration obtenu en fonction de la texture. D'autre part, nous souhaitions aussi avoir des renseignements au sujet de l'influence du type de sources utilisées sur la validité des données.

Nous avons trois types de résultats d'infiltration en fonction de la texture (infiltration possible, impossible et potentiellement possible). Et de trois types de sources différentes (échelle inférieure au 1/25'000, échelle supérieure au 1/25'000, expertise). En fonction de ces deux paramètres, il existe 9 combinaisons possibles au niveau d'un tronçon : ex : infiltration possible et échelle inférieure au 1/25'000, infiltration impossible et échelle supérieure au 1/25'000, infiltration impossible et expertise, etc.

Afin d'avoir des résultats statistiquement exploitables, nous avons décidé de distribuer 15 points au hasard par combinaison. Au total, j'ai 135 points à aller échantillonner. Je profiterai de ces échantillonnages, pour relever la géométrie ainsi que l'état de surface des bas-côtés afin d'être aussi en mesure d'évaluer les résultats prédits en fonction de ces deux critères.

IV. Conclusion

Pour le moment, seule l'évaluation et la cartographie du potentiel d'infiltration des eaux est terminée. Il nous reste encore à établir celles concernant la géométrie et l'état de surface. Pour ce qui est de la géométrie, il nous reste encore à élaborer une méthode nous permettant de regrouper les différents types de profils topologiques établis, en fonction des trois catégories que nous avons définies, à savoir : infiltration possible, impossible et potentiellement possible. Concernant l'état de surface des bas-côtés, l'obtention des orthophotos aériennes SWISSIMAGE munis du canal infrarouge proche va nous faire gagner non seulement du temps, puisqu'il ne s'agit plus de classifier

les images, mais surtout de la qualité au niveau des résultats, puisque les problèmes d'ombres sur les routes seront résolus.

Ce projet est très intéressant car il comporte de multiples facettes. Il m'a appris que l'établissement d'une bonne méthodologie était la base d'un travail SIG de qualité. En outre, il m'a permis de faire l'expérience de ce qu'était un projet portant sur plusieurs cantons. En effet, j'ai découvert que la recherche de données dans ces conditions n'était pas toujours facile et qu'il existait de grandes disparités, entre les cantons suisses, en matière de qualité et de disponibilité des données SIG. Du point de vu technique, j'ai pu me familiariser avec le référencement linéaire, la classification d'image supervisée, le géo-référencement et me perfectionner, notamment, en digitalisation. J'ai cependant encore du mal à adopter une nomenclature systématisée des couches que je créé, ce qui m'évitera pourtant de perdre du temps inutilement !

Actuellement, je commence la phase de vérification des résultats sur le terrain. Cette phase va nous permettre de contrôler la pertinence de notre méthodologie grâce au calcul d'indices de fiabilité globaux et par critères. En fonction de ces indices nous modifierons la méthodologie si besoin est.

Dans les années à venir les résultats obtenus à l'aide de la méthodologie que nous avons élaborée pourront être de bien meilleure qualité du fait de l'amélioration qualitative des données SIG servant de base à notre évaluation. L'amélioration qualitative des données sources aura surtout un impact sur les résultats concernant la géométrie et l'état de surface. En effet, lorsque tous les cantons suisses posséderont un modèle numérique de terrain à 1 mètre, voir plus précis, il sera d'autant plus facile d'identifier la géométrie d'un bas-côté qui ne présente pas un profil topologique très marqué. Aussi, lorsque les cantons auront terminés d'établir la cartographie sous format SIG de la couverture et de utilisation du sol sur leur territoire, l'état de surface des bas-côtés n'aura plus à être traité puisqu'il sera déjà renseigné dans cette couche. En outre, les couches cantonales de la couverture et de l'utilisation du sol pourront permettre de cibler géographiquement l'évaluation du potentiel d'infiltration uniquement au niveau des bas-côtés, grâce la création d'un masque des bas-côtés à partir de cette couche.

V. Bibliographie

- [1] Association Suisse des Professionnels de la Protection des Eaux, Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Swiss Water Pollution Control Association, « Directive sur l'infiltration, la rétention et l'évacuation des eaux pluviales dans les agglomérations ».VSA, 2002, 120p
- [2] G. Team, « GeoNetwork : portail pour l'information géographique », 2007. [Online]. Available: <http://www.geocat.ch/geonetwork/srv/fra/geocat>. [Accessed: 30-août-2012].
- [3] OFROU, « page d'accueil », 2006. [Online]. Available: <http://www.astra.admin.ch/index.html?lang=fr>. [Accessed: 30-août-2012].
- [4] Esri, « Fonction NDVI », 2012, [Online]. Available: <http://help.arcgis.com/fr/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009t00000052000000>. [Accessed: 25-août-2012].
- [5] H. Dao, « télédétection principes de base», 2008, 10p.
- [7] R. Haeberli, *Carte écologique-physiographique des sols du canton de Vaud*. Office cantonal vaudois de l'urbanisme, 1971, 119p

- [8] université de Guelph, « georeferencing images in Arcmap 10 », 2011. [Online]. Available: http://www.lib.uoguelph.ca/resources/data_resource_centre/help_&_learning_resources/geo_spatial_help/components/documents/georeferencing_10.pdf. [Accessed: 30-août-2012].
- [9] Esri, « Initiation ArcGis9 ». [Online], 2003. Available: <http://www.fichier-pdf.fr/2011/10/21/initiation-arcgis9/>. [Accessed: 30-août-2012].
- [10] Esri, « règles de Topologie de Géodatabase ArcGIS 8.3 ».2003,[Online]. Available: http://www.esrifrance.fr/iso_album/topoposter.pdf. [Accessed: 30-août-2012].

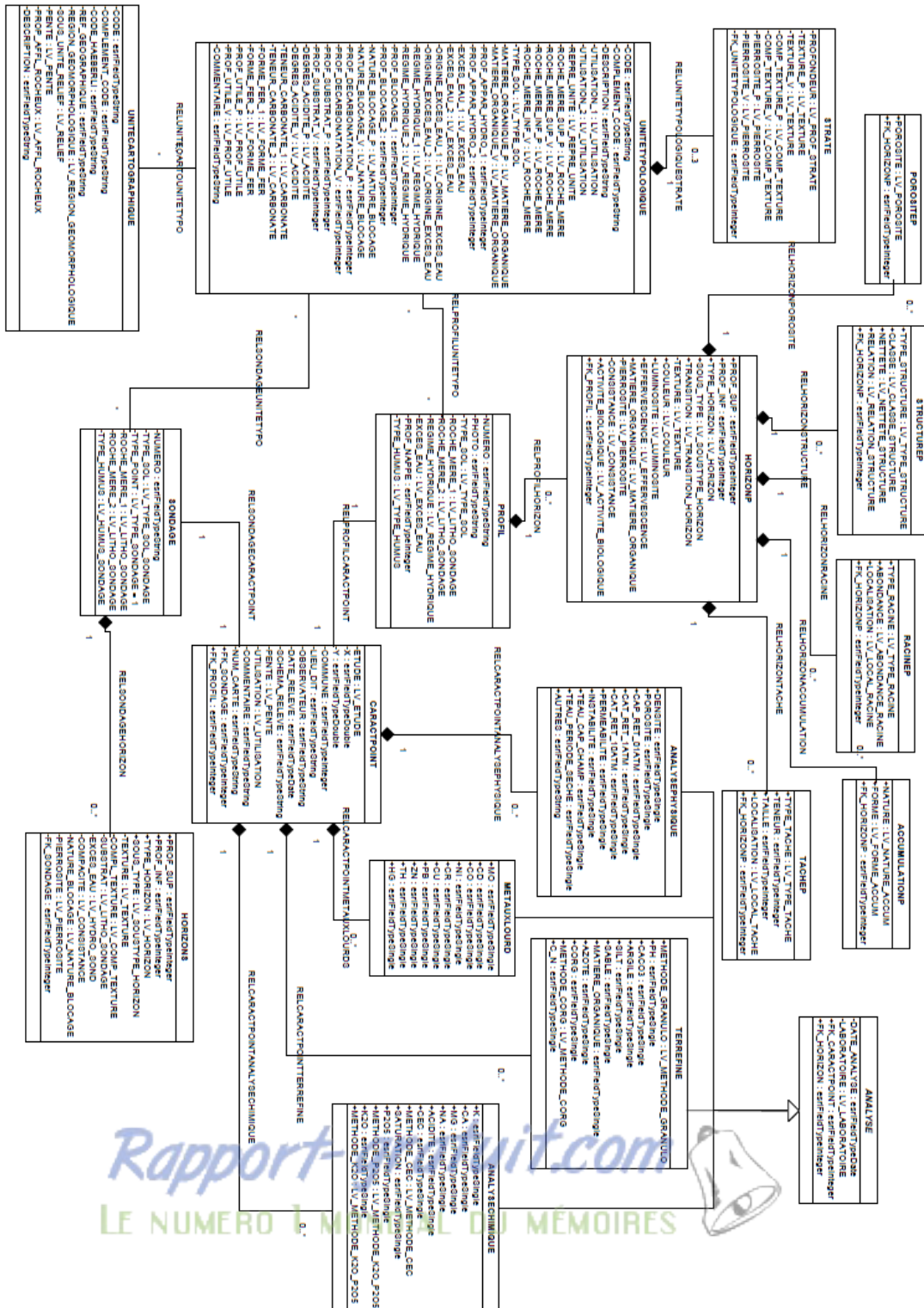
VI. Table des illustrations

Figure 1 : Filiales au niveau desquelles nous avons à cartographier le potentiel d'infiltration des eaux de ruissellement par les bas-côtés.....	6
Figure 2 : Représentation schématique d'un bas-côté adapté à l'infiltration des eaux de chaussées ...	7
Figure 3 : triangle des textures Suisse montrant le pourcentage en argile, limon et sable des différentes classes texturales suisses (SSP/BGS, 1993).....	8
Figure 4 : Vue synthétique des différentes étapes que comprend la méthodologie élaborée pour ce mandat (Visidata est un logiciel qui permet de visualiser les vidéos qui ont été faites sur l'ensemble du tracé des routes nationales, à l'aide de 4 caméras embarquées)	10
Figure 5 : exemple profil obtenu à l'aide du script d'Alain Dubois (source : A.Dubois).....	16
Figure 6 : deux exemples de classification supervisée à l'aide de fichier de signatures spectrales différents (source : K. Gondret).....	17
Figure 7 : signatures spectrales [5].....	18
Figure 8 : Diagnostic d'infiltration des eaux de chaussées par les bas-côtés des autoroutes, d'après le critère textural, au niveau des filiales d'Estavayer-le-lac et de Thune.....	25
Figure 9 : Diagnostic d'infiltration des eaux de chaussées par les bas-côtés des autoroutes, d'après le critère textural, au niveau du canton de Genève.....	25
Figure 10 : Diagnostic d'infiltration des eaux de chaussées par les bas-côtés des autoroutes, d'après le critère textural, au niveau des filiales d'Estavayer-le-lac et de Thune, après avoir extrait les zones de ponts et de tunnels.	26
Figure 11 : Résultats statistiques donnant la longueur totale (en m) de la couche de polygones renfermant les données texturales des sols traversés par les autoroutes, après extraction des zones de ponts et de tunnels.	26
Figure 12 : Statistiques donnant la longueur des tronçons où l'infiltration n'est pas possible du point de vue de la texture (en m)	27
Figure 13 : Statistiques donnant la longueur des tronçons où l'infiltration est possible du point de vue de la texture (en m).....	27
Figure 14 : Statistiques donnant la longueur des tronçons où l'infiltration est potentiellement possible du point de vue de la texture (en m)	27

VII. Glossaire

classe granulométrique* : classe destinée à trier les minéraux d'un sol uniquement en fonction de leurs diamètres (ne concerne que les minéraux présentant un diamètre inférieur à 2mm)

EIE* : étude d'impact environnementale



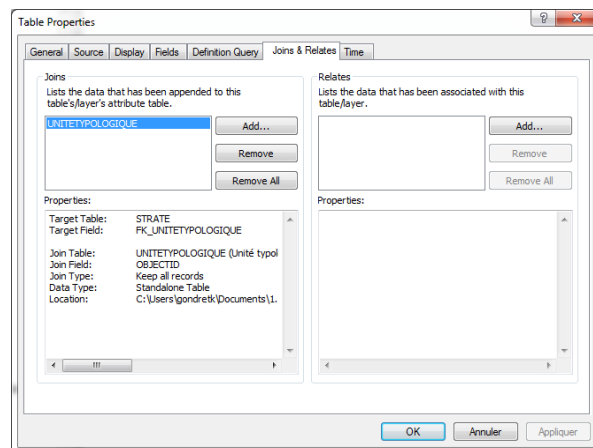
VII.2. Description détaillée de l'élaboration de la carte des textures des sols Vaudois traversés par l'autoroute.

VII.2. 1. Création de jointure entre les tables de la base de données pédologiques fournies par le canton de Vaud permettant d'exploiter les informations texturales qu'elle renferme.

Cette manipulation a consisté à joindre la table attributaire de la couche de polygone « UNITECARTOGRAPHIQUE » à la table de donnée « STRATE ». Le but est que chaque polygone de la couche « UNITECARTOGRAPHIQUE » puisse présenter l'attribut « TEXTURE_P » (= texture principale). Cette manipulation comprend trois étapes de jointure qui peuvent être comprises grâce au VII.1. Modèle de données de la base de données pédologiques du canton de Vaud, Annexe 1, VII.1. Modèle de données de la base de données pédologiques du canton de Vaud.

- Etape 1 de la jointure :

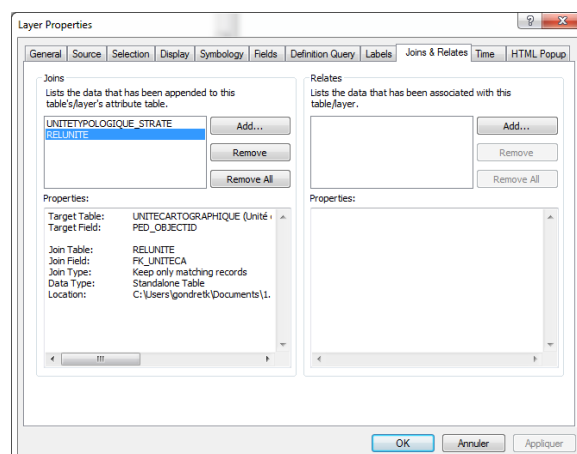
Dans un premier temps, nous avons relié la table STRATE (qui contient le champ « TEXTURE_P » avec la table « UNITETIPOLOGIQUE ». Les détails de cette jointure sont visibles sur la Copie d'écran 4.



Copie d'écran 6 : Etape 1 de la jointure

- Etape 2 de la jointure :

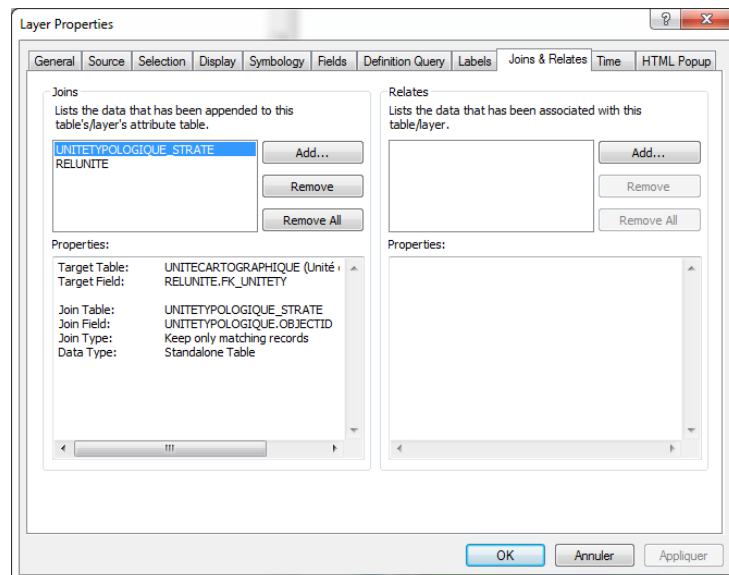
J'ai joint la table « UNITECARTOGRAPHIQUE » à la table de relation « RELUNITE » afin d'ajouter le champ « RELUNITE_FK.UNITETY » à « UNITECARTOGRAPHIQUE » qui me permettra de procéder à l'étape 3. Les détails de cette jointure sont visibles sur la Copie d'écran 7.



Copie d'écran 8 : Etape 2 de la jointure

- Etape 3 de la jointure :

J'ai joint la table « UNITECARTOGRAPHIQUE » à la table « STRATE » précédemment jointe à « UNITETIPOGRAPHIQUE ». Grâce à cette dernière jointure je peux afficher sous arcMAP, la couche de polygones « UNITECARTOGRAPHIQUE » en fonction de la texture principale de chacun des polygones. Les détails de cette jointure sont visibles sur la Copie d'écran 9.



Copie d'écran 10 : Etape 3 de la jointure

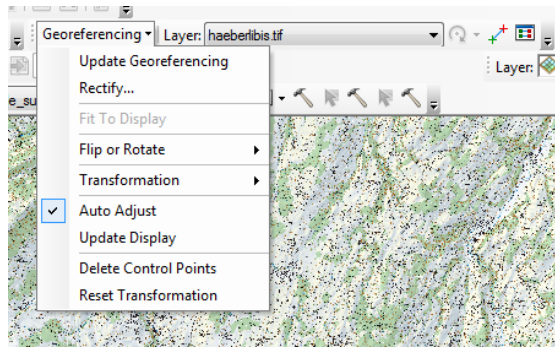
VII.2.2. Scannage et géo-référencement de la carte pédologique du canton de Vaud

Les données pédologiques sous format SIG que le canton de Vaud m'avait fournies ne couvraient malheureusement pas l'ensemble du territoire vaudois. Cependant le canton de Vaud possède une carte pédologique au format papier, faite en 1971 par Haeberli [7], qui couvre ces zones.

Dans un premier temps, j'ai donc scanné cette carte et dans un deuxième temps, je l'ai géo-référencée. Pour ce faire, j'ai suivi les conseils du tutoriel « georeferencing Images in Arcmap 10 » [8]. J'ai tout d'abord affiché la « géoreferencing toolbar ».

- Etape 1 :

Après avoir sélectionné l'image à géoréférencer dans le menu déroulant « layer » de la « toolbar », j'ai fait un click droit sur « Georeferencing » afin de sélectionner « AutoAdjust ».





Copie d'écran 11 : Sélection du paramètre de géo-référencement "auto Adjust"

- Etape 2 :

J'ai fait en sorte de visualiser la zone où doit être géoréférencée la carte, puis j'ai sélectionné « fit to display » (click droit sur « Georeferencing ») afin d'afficher la carte à cet endroit. En jouant sur la transparence des couches j'ai pu deviner la couche raster représentant la carte nationale suisse au 1/25'000 (communément appelée CN25) grâce à laquelle je vais pouvoir géo référencer la carte d'Haeberli.

- Etape 3 :

J'ai utilisé l'outil « Add control Points » (), qui permet de lier un point au niveau de la carte d'Haeberli (le point matérialisé par une croix verte) au point qui lui correspond au niveau de la carte nationale au 1/25'000 (le point sera matérialisé par une croix rouge). Chaque couple de points est appelé point de calage. Il faut au minimum 3 points de calage pour géo référencer une image. En

premier lieu j'ai créé 4 points de calage, puis j'ai ouvert « link table » () (Copie d'écran 12 : Ouverture de « link Table » après avoir créé 4 points de calage)

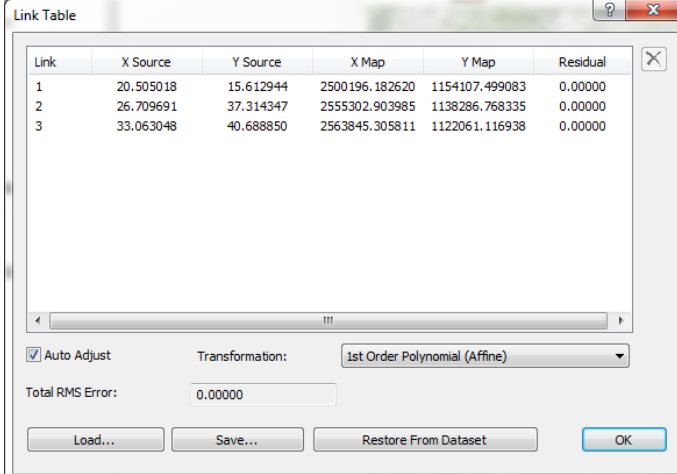
Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual
1	20.505018	15.612944	2500196.182620	1154107.499083	9.40740
2	20.258301	16.090235	2501415.406366	1154756.628705	9.72895
3	26.709691	37.314347	2555302.903985	1138286.768335	1.01338
4	33.063048	40.688850	2563845.305811	1122061.116938	0.69183

☒ Auto Adjust Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)
 Total RMS Error: 6.79443
 Load... Save... Restore From Dataset OK

Copie d'écran 12 : Ouverture de « link Table » après avoir créé 4 points de calage

- Etape 4 :

La colonne « RESIDUAL » qui se trouve dans « link Table » caractérise la distance (ou l'écart) en mètre (même unité que le système de coordonnées utilisé) qui sépare, pour chaque point de calage, le point rouge du point vert. « L'écart moyen sur l'ensemble des points de calage est appelé : Erreur Moyenne Quadratique (RMS en anglais) »[8]. J'ai constaté que l'erreur moyenne avec 4 points de calage était de 6,79 m. Par conséquent, j'ai décidé de minimiser cette erreur en supprimant le point de calage 2, qui présentait la distance la plus grande entre le point rouge et le point vert. Le résultat au niveau de la « link Table » est présenté.



Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual
1	20.505018	15.612944	2500196.182620	1154107.499083	0.00000
2	26.709691	37.314347	2555302.903985	1138286.768335	0.00000
3	33.063048	40.688850	2563845.305811	1122061.116938	0.00000

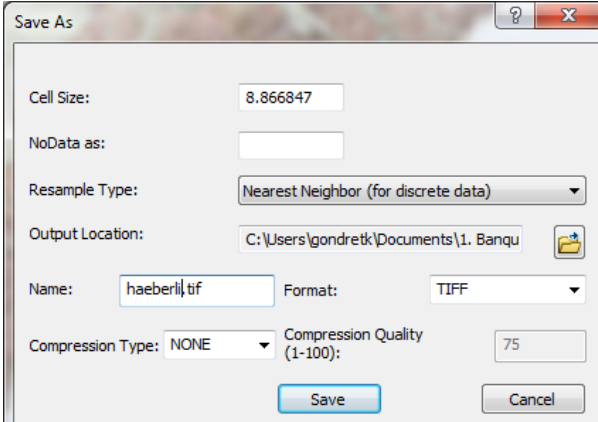
Auto Adjust: ☒ Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)
Total RMS Error: 0.00000
Buttons: Load... Save... Restore From Dataset OK

Copie d'écran 13 : Ouverture de « link Table » après avoir supprimé le point de calage 2

Cette opération a permis de minimiser l'erreur moyenne. Nous validons donc le géoreférencement.

- Etape 5 :

Il s'agit maintenant de sauver l'image géoreférencée en « Tiff ». Dans ce but, je clic sur « Rectify ». Les paramètres choisis pour la sauvegarde sont visibles sur Copie d'écran 14 : Interface qui permet de sauver l'image géoreférencée



Cell Size: 8.866847
NoData as:
Resample Type: Nearest Neighbor (for discrete data)
Output Location: C:\Users\gondretk\Documents\1. Banqu
Name: haeberl.tif Format: TIFF
Compression Type: NONE Compression Quality (1-100): 75
Buttons: Save Cancel

Copie d'écran 14 : Interface qui permet de sauver l'image géoreférencée

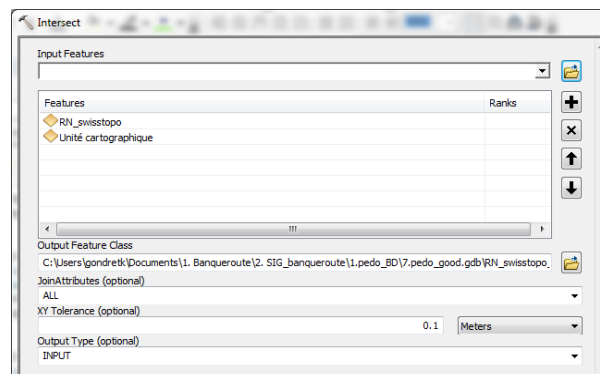
VII.2.3. Création de la couche contenant les textures des sols des bas-côtés le long des RN du canton de Vaud

Vu que l'acquisition des données s'est faite par canton, j'ai élaboré la couche de texture de la même façon. Je vais présenter ici, de façon détaillée, le développement de la couche de texture du canton de Vaud. J'ai choisi de décrire l'élaboration de cette couche car cette dernière a nécessité la mise en œuvre de l'ensemble des méthodes utilisées pour cartographier la texture des sols des bas-côtés sur la zone d'étude.

VII.2.3.1.Extraction de données à partir des données pédologiques du canton de Vaud acquises en format SIG.

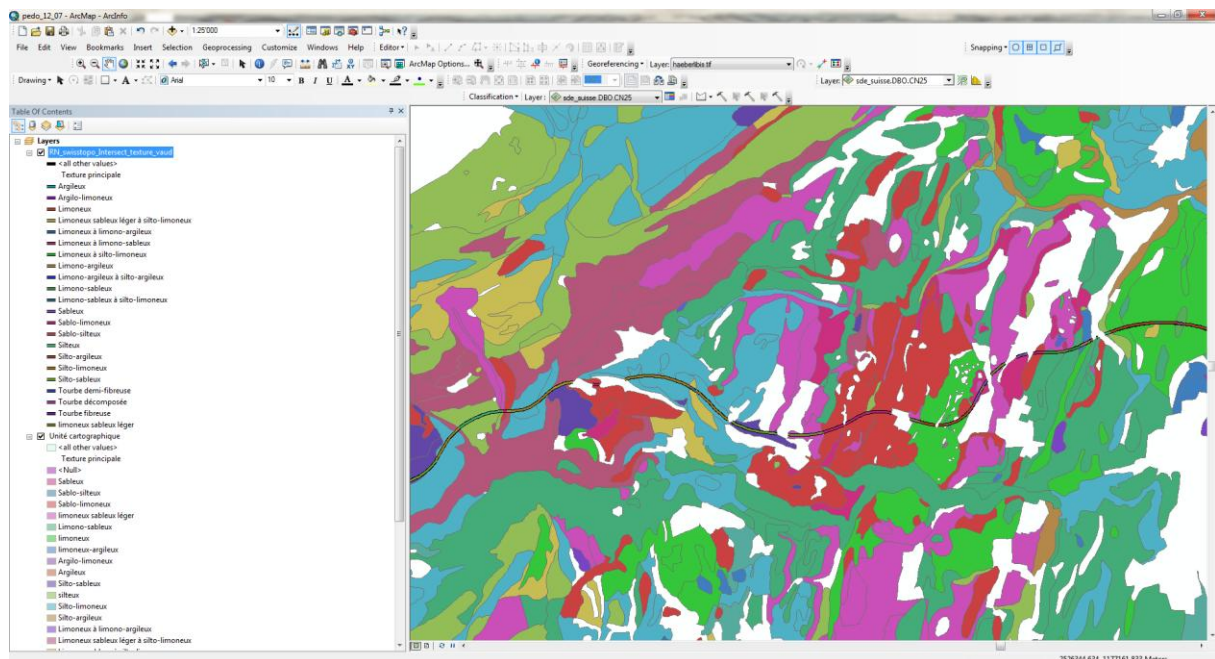
Nous souhaitons ajouter à la couche de polygones représentant le réseau des RN*appelée « RN_swisstopo », la texture des unités cartographique du canton de Vaud qu'elle traverse. Ce qui se traduit en terme SIG par l'Intersection de la couche « RN_swisstopo » avec la couche « UNITECARTOGRAPHIQUE » du canton de Vaud. Cette manipulation nous permettra d'affecter l'attribut « TEXTURE_P » (texture principale) aux polygones de la couche « RN_swisstopo ».

La couche résultante portera le nom de «RN_swisstopo _UNITECARTOGRAPHIQUE_Intersect » (Copie d'écran 15 : Partie de l'interface permettant de paramétrer l'intersection entre deux couches)



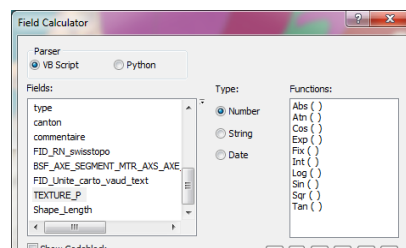
Copie d'écran 15 : Partie de l'interface permettant de paramétrer l'intersection entre deux couches

Voilà ci-dessous un aperçu du résultat obtenu



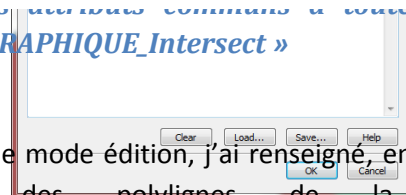
Copie d'écran 16 : Aperçu de la couche «RN_swisstopo_UNITECARTOGRAPHIQUE_Intersect » au 1/25'000

Une fois cette opération effectuée, j'ai pu peupler le champ « texture » de la couche « RN_swisstopo » à partir du champ « TEXTURE_P » à l'aide de l'outil « calculator field » (accessible par un clic droit sur le champ à peupler) à l'aide de la formule suivante : texture = [TEXTURE_P].



copie d'écran 17 : paramètre rentrer dans l'interface de "calculator field"

VII.2.3.2. Renseignant des attributs communs à toutes les entités de la couche « RN_swisstopo_UNITECARTOGRAPHIQUE_Intersect »



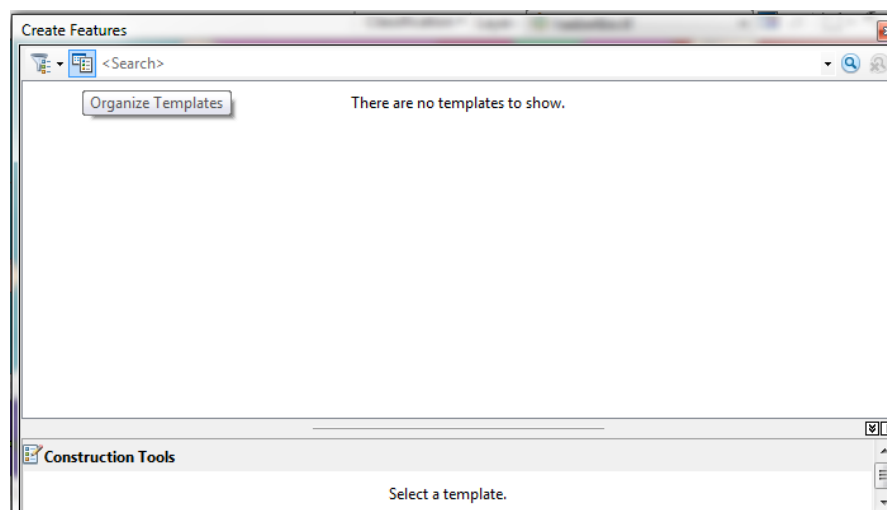
Afin de gagner du temps, sous le mode édition, j'ai renseigné, en une fois, les attributs qui étaient commun à l'ensemble des polygones de la couche « RNswisstopo_UNITECARTOGRAPHIQUE_Intersect », tel que « source », « source_simple » et « triangle ».

-Etape 1

Passer en mode édition (clique droit sur la couche à modifier, clique gauche sur l'onglet « edit Features », puis sur « start edit ».)

-Etape 2

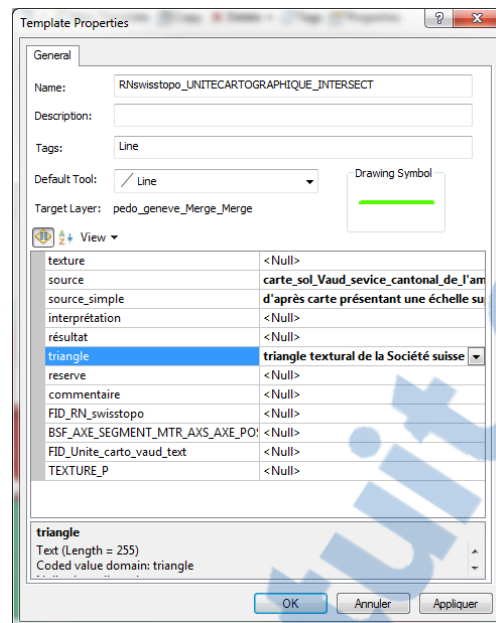
Lorsque la session d'édition commence sous Arcmap10, un interface appelé « Create Features » s'affiche. Je clic ensuite sur « organize Template » (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), puis sur « New Template ». Créer un « template » revient à définir le patron de la mise en page de notre couche.



Copie d'écran 18 : Interface "Crate feature"

- Etape 3

Une fois le « Template » créé, nous pouvons en modifier les propriétés et renseigner les attributs communs à l'ensemble des polygones que contient la couche. (Copie d'écran 19 : Interface permettant de renseigner en une fois les attributs communs à toutes les entités d'une couche »

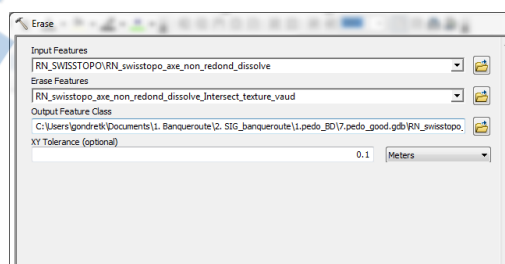


Copie d'écran 19 : Interface permettant de renseigner en une fois les attributs communs à toutes les entités d'une couche

VII.2.3.3. Création d'une couche représentant les tronçons de RN* n'ayant pas été renseignés du point de vue textural lors de l'étape précédente (couche appelée « RNswisstopo_UNITECARTOGRAPHIQUE_Intersect_Erase »).

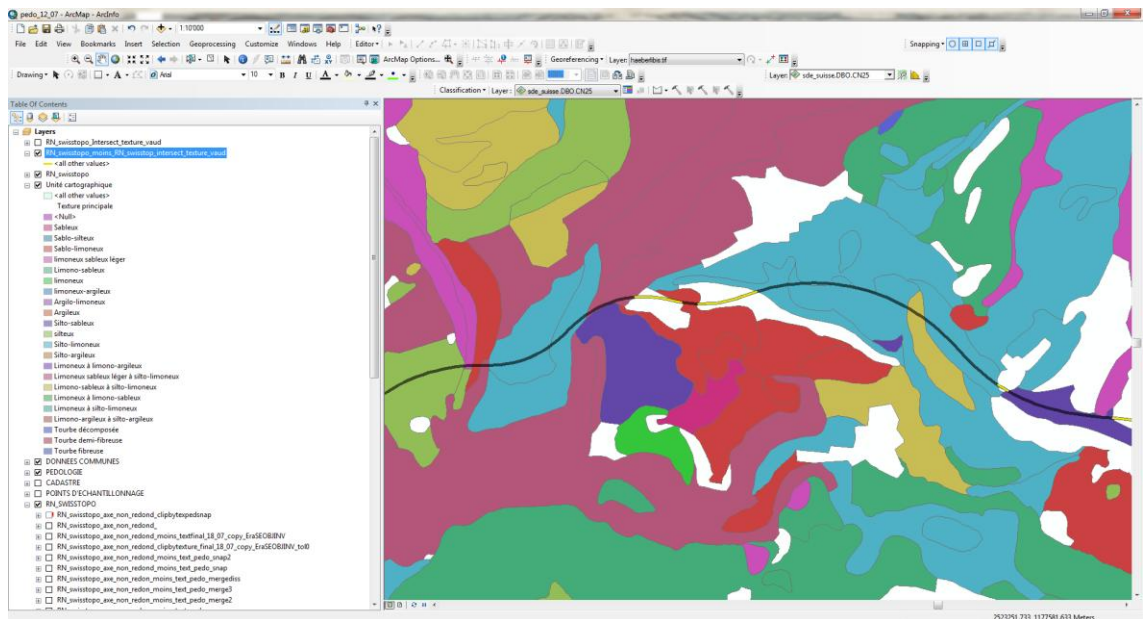
Le but de cette étape est d'obtenir une couche de polyligne renfermant les tronçons d'autoroute vaudoise qui traversent des parties du canton de Vaud ne présentant pas de donnée pédologiques en format SIG.

Pour ce faire, j'ai ôté à la couche « RN_swisstopo » celle obtenue à l'étape précédente, appelée « RNswisstopo_UNITECARTOGRAPHIQUE_intersect ») (issues de l'intersection entre RN* Swisstopo et « UNITECARTOGRAPHIQUE »). Dans ce but, j'ai utilisé l'outil « Erase » (Copie d'écran 20 : Paramètres entrés dans l'interface de l'outil « Erase » La couche résultant de ce traitement portera le nom de « RNswisstopo_UNITECARTOGRAPHIQUE_Intersect_Erase ».



Copie d'écran 20 : Paramètres entrés dans l'interface de l'outil « Erase »

Voilà ci-dessous un aperçu du résultat obtenu (Copie d'écran 21)



Copie d'écran 21 : Aperçu de la couche « RNswisstopo_UNITECARTOGRAPHIQUE_Intersect_Erase » obtenue après l'utilisation de l'outil "ERASE" au 1/10'000

VII.2.3.4. Modification de couche en mode édition à l'aide des outils de digitalisation et Renseignement manuel du champ « texture » de la couche « RNswisstopo_UNITECARTOGRAPHIQUE_Intersect_Erase »

Certaines polygones de la couche « RNswisstopo_UNITECARTOGRAPHIQUE_Intersect_Erase » traversaient des zones présentant des textures différentes. Par conséquent, j'ai dû modifier les longueurs de ces polygones grâce à la barre d'outils « Editor ».

- Etape 1 : A l'aide de la flèche que comprend cette barre (Copie d'écran 22), j'ai sélectionné la polygone à modifier.

- Etape 2 : J'ai cliqué sur le bouton droit de la souris, afin de sélectionner « edit vertices »

- Etape 3 : J'ai déplacé des sommets en fonction des besoins. J'ai aussi coupé des polygones grâce à l'outil « split tools ». J'ai répété ces opérations autant de fois que nécessaire, en renseignant systématiquement les attributs à l'aide de la carte pédologique d' Haeberli [7], précédemment géo-référencée.



Copie d'écran 22 : Barre d'outils "Editor"

Pour finir, j'ai renseigné les attributs communs à l'ensemble des entités de la couche « RNswisstopo_UNITECARTOGRAPHIQUE_Intersect_Erase » selon la méthode qui a été présentée à la partie VII.2.3.2. Renseignement des attributs communs à toutes les entités de la couche.

VII.4. Obtention d'une couche unique en fusionnant la couche « RN_swisstopo_UNITECARTOGRAPHIQUE_Intersect» avec la couche « RN_swisstopo_UNITECARTOGRAPHIQUE_Intersect_Erase »

L'outil utilisé dans ce but est appelé « Merge ». Il me permet d'obtenir une seule couche contenant les informations texturales pour l'ensemble des sols traversés par l'autoroute vaudoise.