

Développement d'un modèle de gestion du réseau routier forestier de la Mauricie

Présenté à :

Conférence Régionale des Élus de la
Mauricie

Monsieur Luc Desaulniers - Agent de
développement

Présenté par :



CERFO
Centre d'enseignement et de recherche
en foresterie de Sainte-Foy inc.

Dominic Toupin, ing.f., M.Sc.
Jean-Denis Grenier, ing.f.
Simon Fortier, ing.f.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES FIGURES	II
REMERCIEMENTS	III
NOTE	III
RESUME	IV
INTRODUCTION	V
1. Description du problème	1
1.1. Sources diverses et disparates	1
1.2. Manque d'intégrité géométrique et topologique	1
1.3. Fragmentation des segments	3
1.4. Manque d'intégrité sémantique	5
2. La référence linéaire	6
2.1. Calibration des chemins	6
2.2. Segmentation dynamique	7
3. Objectifs	8
4. Méthode	8
4.1. Caractérisation de l'information	8
4.2. Recueil d'information	9
4.3. Structuration des entités géométriques	10
4.3.1. Structuration géométrique (correction topologique)	10
4.3.2. Numérotation des chemins	10
4.3.3. Calibration des chemins	10
4.4. Implantation	11
4.4.1. Modèle relationnel	12
4.4.2. Validation	12
4.5. Mise à jour de l'information	12
4.5.1. Mise à jour de la géométrie	12
4.5.2. Mise à jour des caractéristiques	13
5. Résultats	13
5.1. Modèle conceptuel de données	13
5.2. Modèle relationnel Access	19
5.3. Base de données géospatiales	23
5.4. Procédures de saisie et de mise à jour de l'information	23
5.4.1. Mise à jour de la géométrie	23
5.4.1.1. Mise à jour sans borne relevée au GPS	24
5.4.1.2. Mise à jour avec des bornes relevées au GPS	26
5.4.2. Mise à jour des caractéristiques	26
5.4.2.1. Mise à jour manuelle	26
5.4.2.2. Mise à jour à partir d'une couche	29
6. Discussion	31
CONCLUSION	33
BIBLIOGRAPHIE	34
ANNEXE 1. DEFINITION DES CATEGORIES DE CHEMIN	35
ANNEXE 2. METHODE DE NUMEROTATION DES CHEMINS	37
ANNEXE 3. METHODE DE CALIBRATION DES CHEMINS	41
ANNEXE 4. UTILISATION DES MODELES CREES AVEC LE <i>MODEL BUILDER</i>	48
ANNEXE 5. METHODE POUR AJOUTER UNE TABLE A LA BASE DE DONNEES	57

TABLE DES FIGURES

Figure 1. Exemple de tracé divergent pour la route 10 en Haute-Mauricie.....	1
Figure 2. Exemple d'un chemin mal connecté.....	2
Figure 3. Exemple d'un chemin où deux segments sont juxtaposés pour n'en former qu'un seul	3
Figure 4. Exemple d'un chemin segmenté correctement.....	4
Figure 5. Exemple d'un chemin segmenté abusivement	4
Figure 6. Valeurs non entières rencontrées dans des tables de réseau routier forestier	5
Figure 7. Système de référence linéaire	6
Figure 8. Exemple de segmentation dynamique	7
Figure 9. Vue simplifiée du modèle conceptuel de la base de données.....	14
Figure 10. Vue industrielle du modèle conceptuel de la base de données	15
Figure 11. Vue générale du modèle conceptuel de la base de données.....	17
Figure 12. Modèle relationnel graphique Access.....	21
Figure 13. Structure de la table d'une couche de points GPS représentant des bornes kilométriques	26
Figure 14. Formulaire principal	27
Figure 15. Exemple de formulaire de base	28
Figure 16. Formulaire avec gestion de l'historique.....	29
Figure 17. Interface de l'outil <i>Locate Features Along Routes</i>	30
Figure 18. Exemple de numérotation des chemins	39
Figure 19. Exemple de numérotation des chemins à plus grande échelle	40
Figure 20. Exemple d'une route complexe à calibrer.....	41
Figure 21. Segments de route simple fusionnés avec la voie de droite des segments de route complexe	42
Figure 22. Points de calibration de la route principale.....	43
Figure 23. Exemple de numérotation des segments d'une route	44
Figure 24. Segment de route à conserver (enregistrements surlignés).....	45
Figure 25. Interfaces à compléter lors de l'utilisation de l'outil <i>Locate Point Features Along Routes</i>	46
Figure 26. Modèle 02 – <i>Ajouter champs numéro chemin</i>	48
Figure 27. Interface à compléter lors de l'utilisation du modèle 02 – <i>Ajouter champs numéro chemin</i>	49
Figure 28. Modèle 03 – <i>Fusionner les nouveaux chemins avec la couche ce_route</i>	49
Figure 29. Interface à compléter lors de l'utilisation du modèle 03 – <i>Fusionner les nouveaux chemins avec la couche ce_route</i>	50
Figure 30. Modèle 05 – <i>Créer les points de calibration</i>	51
Figure 31. Interface à compléter lors de l'utilisation du modèle 05 – <i>Créer les points de calibration</i>	52
Figure 32. Modèle 06 – <i>Fusionner les points avec la couche des points de calibration</i>	53
Figure 33. Interface à compléter lors de l'utilisation du modèle 06 – <i>Fusionner les points avec la couche des points de calibration</i>	54
Figure 34. Modèle 07 – <i>Calibrer les nouvelles routes</i>	55
Figure 35. Interface à compléter lors de l'utilisation du modèle 07 – <i>Calibrer les nouvelles routes</i>	56

REMERCIEMENTS

Le CERFO tient à remercier les personnes suivantes pour leur contribution au projet :

- Denis Thibault – Kruger inc.
- Stéphane Arcand – Consultant (Semafor)
- Louis Vachon
- Guillaume Pomerleau, stagiaire au CERFO à l'été 2008

NOTE

Ce projet a été réalisé en utilisant le logiciel SIG ArcMap 9.3 de la suite ArcGIS de la compagnie ESRI. Les procédures et modèles de traitement faits avec le *Model Builder* fonctionneront seulement avec la version 9.3 du logiciel. Cependant, il est possible de convertir les modèles pour qu'ils soient utilisables dans les versions 9.1 et 9.2 du logiciel. Pour convertir les modèles, contactez Dominic Toupin au d.toupin@cerfo.qc.ca.

RÉSUMÉ

En foresterie, un des principaux freins au développement d'applications géomatiques et d'outils d'aide à la décision est le manque de qualité des données géospatiales, notamment des données sur le réseau routier. Le réseau routier de la Mauricie n'échappe pas à cette tendance. Les sources de données sont diverses, disparates et de qualité variable. Ces sources de données manquent d'intégrité tant du côté de la géométrie, de la topologie que des valeurs sémantiques qui peuplent les tables d'attributs.

Afin de trouver des solutions à ces problèmes, le CERFO a proposé à la CRÉ de la Mauricie d'étudier la possibilité de structurer le réseau routier à partir du concept de la référence linéaire. La référence linéaire s'appuie sur des mesures de distance le long des chemins afin de positionner des caractéristiques de chemins à partir de ces mesures.

Pour réaliser ce projet, une méthode d'ingénierie de base de données a été utilisée. Un modèle conceptuel a été proposé pour structurer le réseau routier et faciliter son implantation dans une base de données géospatiales. Ce modèle contient aussi la description des valeurs que peuvent prendre les attributs afin de créer des domaines de valeurs qui favorisent l'intégrité sémantique des données.

Avec l'aide de partenaires dont le MRNF et Kruger inc., le CERFO a répertorié les diverses sources de données. Ces données ont été intégrées et un choix a été fait pour chacun des segments de chemins. La topologie de ces segments a été corrigée. Une couche des chemins principaux de la Mauricie a donc été créée. Cette couche propose un tracé unique et intègre pour chaque route. Avec les partenaires, un consensus a été établi sur certaines caractéristiques comme la catégorie stratégique afin de les définir clairement et de proposer des domaines de valeurs sémantiques.

Les données ont été implantées dans la base de données en respectant le principe de la référence linéaire. Les routes sont composées la plupart du temps d'un seul segment continu et numéroté. Les caractéristiques sont stockées dans des tables indépendantes. Le processus de la segmentation dynamique permet de produire sur demande des couches de données avec les caractéristiques affichées sur les segments de routes.

Les résultats démontrent que la référence linéaire s'applique aisément à un réseau routier forestier et en facilite la gestion. L'utilisation d'une approche d'ingénierie dans la conception de la base de données a permis de structurer le travail et de produire un prototype fonctionnel et robuste. De plus, les modèles produits dans ce projet sont exportables dans d'autres territoires.

Les retombées de ce projet pour la CRÉ de la Mauricie sont diverses. La base de données peut être utilisée comme prototype lors de la création d'un véritable système d'information sur les chemins forestiers de la Mauricie. Elle peut cependant, dans sa forme actuelle, être utilisée pour proposer une méthode régionale de gestion du réseau routier et de ses caractéristiques. La base de données peut servir comme outil de gestion de la sécurité routière en forêt en diffusant des informations sur les dommages, les accidents et les réfections via un site Web. Finalement, la couche de données produite peut servir dans des outils d'aide à la décision afin d'améliorer l'accès au territoire et la prise de décisions en aménagement forestier.

INTRODUCTION

La gestion du réseau routier forestier est essentielle aux activités d'aménagement des ressources du milieu forestier. Le réseau routier permet d'accéder au territoire, de transporter du bois et de transporter des personnes afin de réaliser des activités propres aux utilisateurs de la forêt.

Depuis plusieurs années, des cartes ont été produites pour diffuser l'information concernant le réseau routier. Le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) et les compagnies forestières ont produit des cartes routières forestières afin d'accéder aux sites sélectionnés pour les activités d'aménagement forestier. Pour ces utilisateurs, la planification et la gestion du réseau routier font partie des activités permettant la récolte et la remise en production des forêts.

D'un autre côté, les municipalités régionales de comté (MRC), les municipalités, les gestionnaires des zones d'exploitation contrôlées (ZEC) et les propriétaires d'établissements de villégiature et de récréotourisme ont produit ou fait produire des cartes routières forestières pour permettre aux villégiateurs d'accéder à leurs lieux de prédilection.

Afin de produire des cartes routières forestières, ces différents organismes ont recueilli de l'information sur le réseau routier. On peut citer comme source d'information les cartes topographiques produites et diffusées par le MRNF ou le Gouvernement fédéral, les photographies aériennes utilisées dans la gestion de l'aménagement forestier, les relevés GPS¹, etc. L'information géométrique fournie par ces sources est complétée par des informations descriptives (catégorie, toponyme, vitesse de transport) fournies par les utilisateurs. Lors de la création de ces cartes, les producteurs se sont assurés d'un minimum d'intégrité géométrique et sémantique afin de produire des cartes faciles à utiliser.

L'utilisation généralisée de la cartographie numérique et les possibilités offertes par la cartographie sur le WEB ont généré plusieurs autres possibilités d'utilisation du réseau routier forestier, comme :

- La gestion informatisée des informations descriptives du réseau routier (classe, catégorie, toponyme, vitesse de transport);
- L'accès WEB via une application reliée à Google Maps² pour l'utilisation récréotouristique;
- La gestion de l'entretien des infrastructures routières (ponts et ponceaux, surface de roulement, fossés, etc.) par le MRNF, les MRC et les municipalités;
- L'utilisation dans des systèmes d'aide à la décision tels que Woodstock de Remsoft, ArcGIS Network Analyst, etc. :
 - Analyse spatiale de type réseau (analyse du chemin le plus court, analyse d'itinéraire vers la ressource la plus proche, analyse de zone de service, matrice coût/distance);
 - Optimisation du transport forestier;
 - Optimisation des décisions d'entretien du réseau routier.

¹ Global Positioning System

² <http://maps.google.com/>

Pour réaliser ce type d'applications, le réseau routier forestier doit répondre à des critères de qualité géométriques et sémantiques très stricts. Ces critères de qualité permettent de profiter de toutes les possibilités reliées à ces applications et de réduire au minimum l'incertitude créée par des imprécisions sur les données.

À première vue, l'état du réseau routier de la Mauricie ne permet pas d'atteindre un niveau de qualité suffisant pour la mise en place de ces applications. On constate également un certain retard dans le développement d'outils géomatiques utiles au monde forestier compte tenu de l'indisponibilité d'une couche de données géospatiales du réseau routier suffisamment intègre du point de vue géométrique et sémantique.

1. DESCRIPTION DU PROBLÈME

Très peu de concertation régionale a été entreprise pour consolider les informations multi-sources sur le réseau routier dans le but de le rendre uniforme. Les paragraphes suivants expliquent les problèmes rencontrés dans les différentes couches de réseau routier qui empêchent l'utilisation de ces couches dans des systèmes d'aide à la décision ou Web.

1.1. SOURCES DIVERSES ET DISPARATES

Le réseau routier forestier de la Mauricie, tout comme celui du Québec, provient d'une multitude de sources disparates. Ces diverses sources ont leur propre échelle, leur propre précision, leur propre période de mise à jour ainsi qu'une description des entités particulière à chacune. L'intégration de ces données est donc difficile. De plus, la mise à jour des données est réalisée fréquemment par deux ou plusieurs acteurs chacun de leur côté sans coordination.

1.2. MANQUE D'INTÉGRITÉ GÉOMÉTRIQUE ET TOPOLOGIQUE

Il arrive fréquemment lors de l'affichage de réseau routier provenant de diverses sources de constater qu'une même route peut être représentée par plusieurs tracés divergents. La figure 1 démontre cette situation dans le cas de la route 10 en Haute-Mauricie.

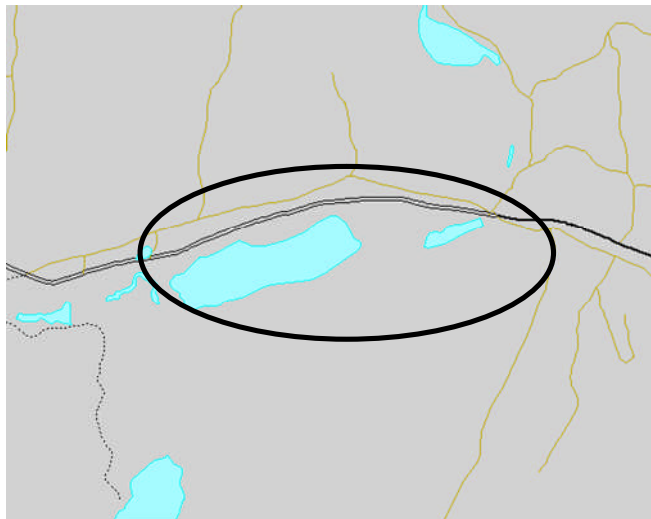


Figure 1. Exemple de tracé divergent pour la route 10 en Haute-Mauricie

Dans le cas de la figure 1, deux tracés distincts existent pour localiser la même route. Il va sans dire que cette situation génère de l'incertitude en ce qui a trait à la juste localisation des entités. Il en va de même avec la localisation des ponts et des ponceaux qui se retrouvent à côté du cours d'eau ou du chemin.

La majorité des segments formant le réseau routier forestier souffre de problèmes topologiques qui nuisent à leur utilisation. On constate fréquemment une absence de connexion aux intersections entre deux chemins et même entre deux segments formant une ligne droite. La figure 2 montre un exemple de manque de connexion.

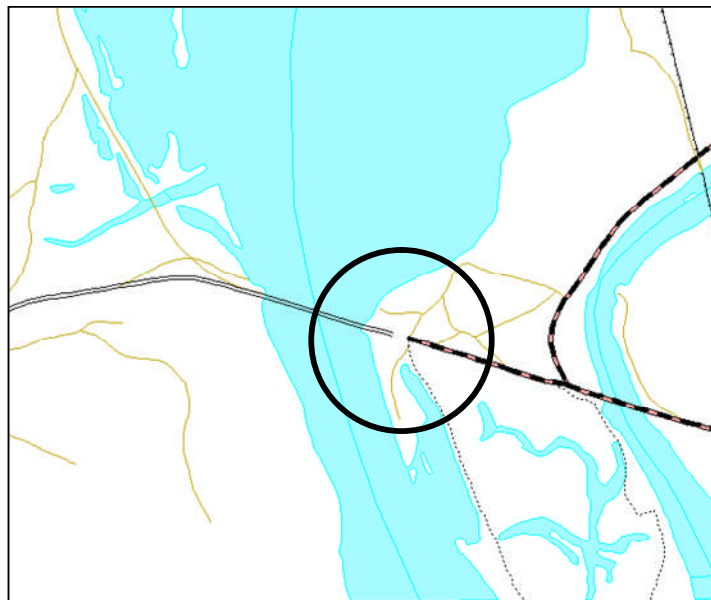


Figure 2. Exemple d'un chemin mal connecté

Ce type de problème nuit considérablement à la production d'analyse de réseau qui requiert un réseau géométrique interconnecté.

Un problème plus subtil affecte également la géométrie des segments routiers. Une opération usuelle dans un logiciel de système d'information géographique (SIG) permet de juxtaposer deux segments pour en former un seul (ex. : outil MERGE de la barre d'outils EDITOR de ArcMap). Cette opération est fréquemment utilisée pour réunir des segments routiers afin de former une route. Il faut noter que bien que cette opération ne forme qu'un seul enregistrement dans la table d'attributs d'une couche donnée, les différents segments qui forment la route demeurent fragmentés en sections. De plus, il arrive que la « fin » du segment (le sommet final) se retrouve au milieu de celui-ci. La figure 3 montre un exemple de ce type de problème.

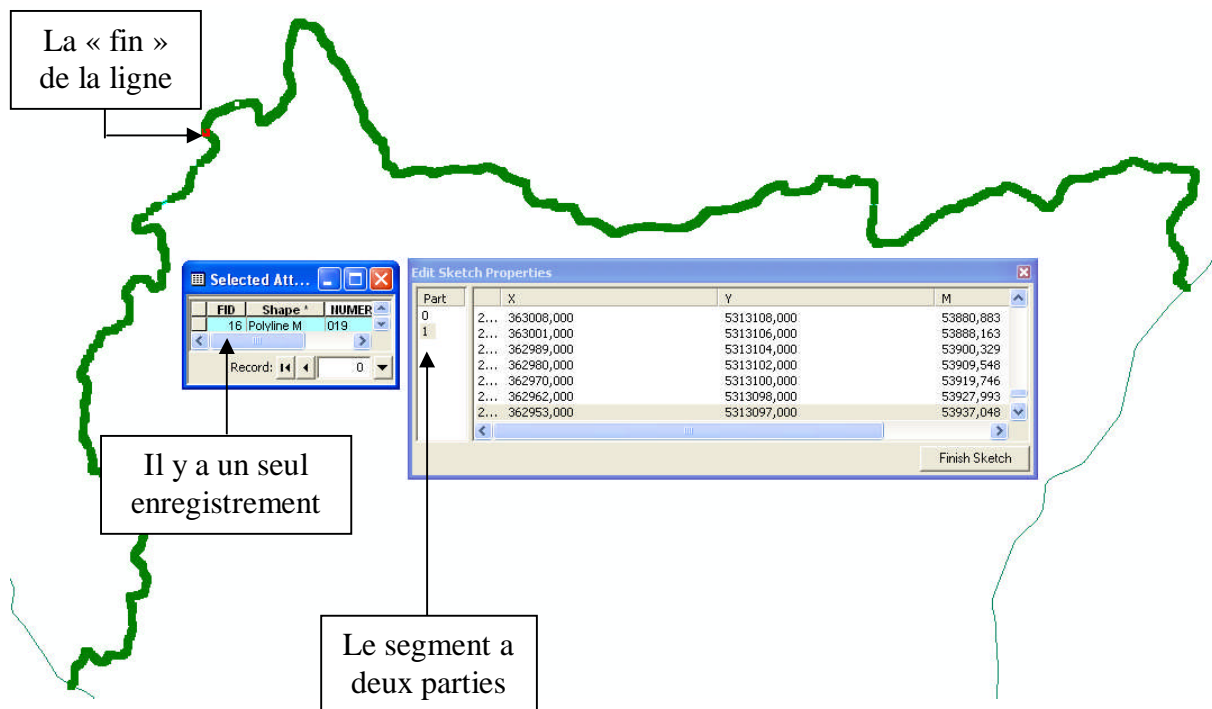


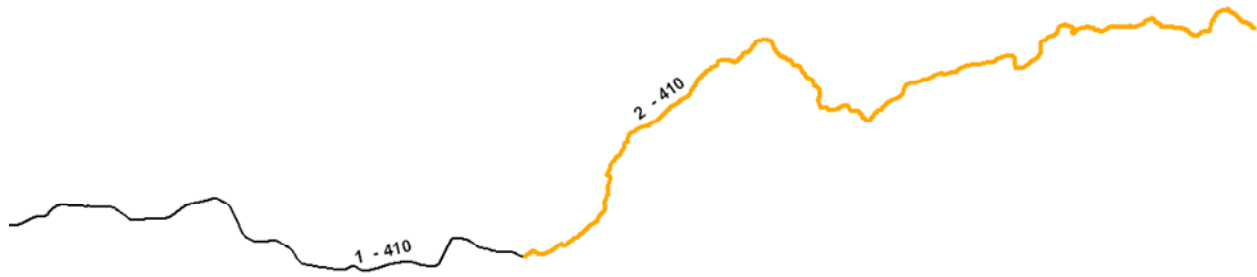
Figure 3. Exemple d'un chemin où deux segments sont juxtaposés pour n'en former qu'un seul

Ce problème topologique, quoique difficilement discernable, peut affecter la réalisation d'analyses spatiales. Il survient fréquemment lors de la juxtaposition de segments de lignes stockés dans un fichier de formes ESRI (ESRI Shapefile).

1.3. FRAGMENTATION DES SEGMENTS

Les entités dans les couches géospatiales de réseau routier sont souvent segmentées abusivement. Normalement, une ligne est segmentée seulement lorsqu'un changement dans les attributs de cette ligne est noté. Par exemple, un chemin a une portion gravelée et une portion asphaltée. Ce même chemin sera donc segmenté à l'endroit où on retrouve le changement de l'attribut *Surface de roulement*.

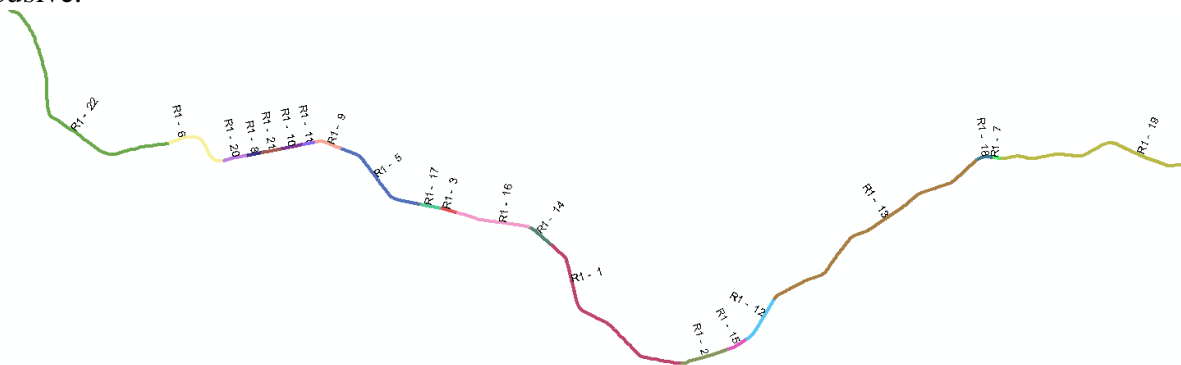
La figure 4 montre un exemple de segmentation adéquate d'un chemin.



FID	SHAPE	NUMERO	SURF_ROUL
1	Polyline	410	Asphaltée
2	Polyline	410	Gravelée

Figure 4. Exemple d'un chemin segmenté correctement

Cependant, la segmentation devient abusive lorsqu'il y a multiplication des attributs. La même constatation s'applique lorsque les lignes qui forment le réseau routier sont segmentées sans raison, c'est-à-dire sans changement d'attributs. La figure 5 montre un exemple de segmentation abusive.



FID	SHAPE	NUMERO	CLASSE	AN_CONST	TOPONYME
1	Polyline	1	1	2001	Route 1 – Rivières-aux-Rats
2	Polyline	1	1	2001	Route 1 – Rivières-aux-Rats
3	Polyline	1	1	2001	Route 1 – Rivières-aux-Rats
4	Polyline	1	1	2001	Route 1 – Rivières-aux-Rats
5	Polyline	1	1	2001	Route 1 – Rivières-aux-Rats
6	Polyline	1	1	2001	Route 1 – Rivières-aux-Rats
7	Polyline	1	1	2001	Route 1 – Rivières-aux-Rats
8	Polyline	1	1	2001	Route 1 – Rivières-aux-Rats
9	Polyline	1	1	2001	Route 1 – Rivières-aux-Rats
10	Polyline	1	1	2001	Route 1 – Rivières-aux-Rats
...

Figure 5. Exemple d'un chemin segmenté abusivement

Cette segmentation abusive génère des tables d'attributs volumineuses dans lesquelles il est difficile de s'y retrouver. De plus, les mises à jour de l'information deviennent laborieuses compte tenu du grand nombre de lignes à modifier lors d'une mise à jour.

1.4. MANQUE D'INTÉGRITÉ SÉMANTIQUE

Les catalogues de métadonnées³ sont très peu utilisés en foresterie. Il en résulte que la définition des attributs et des valeurs qui y sont inscrits est rarement clairement définie. Il existe plusieurs définitions concernant la classe des chemins ou la catégorie des chemins qui sont souvent divergentes. Il est donc difficile d'établir avec certitude les caractéristiques d'un chemin donné. De plus, à notre connaissance, il n'existe pas de consensus régional à ce sujet.

L'utilisation de domaines de valeurs sémantiques (liste de valeurs) n'est pas très répandue en foresterie. Il arrive souvent qu'une valeur soit inscrite de plusieurs façons dans des tables de données de couches différentes et même dans une même couche. La figure 6 illustre ce phénomène.

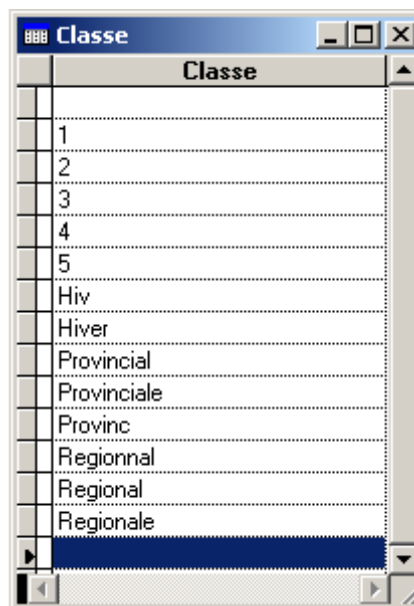


Figure 6. Valeurs non entières rencontrées dans des tables de réseau routier forestier

Ce problème d'intégrité de données nuit considérablement aux analyses car une mise à niveau comportant un grand nombre de corrections faites manuellement doit être réalisée avant de procéder aux analyses.

Ces différents exemples illustrent les déficiences des couches de réseau routier forestier qui sont rencontrées fréquemment lors de l'utilisation de ces informations. Ces problèmes empêchent souvent les utilisateurs de réaliser des analyses et réduisent les possibilités d'utilisation des données.

³ Le Grand dictionnaire terminologique de l'Office de la langue française du Québec (www.granddictionnaire.com) définit une métadonnée comme étant une « Donnée qui renseigne sur la nature de certaines autres données et qui permet ainsi leur utilisation pertinente ».

2. LA RÉFÉRENCE LINÉAIRE

La référence spatiale permet de positionner des objets et leurs attributs sur une carte à l'aide de coordonnées planes dans un plan cartésien (XY). Tout objet dans un système d'information géographique est positionné à partir de ces coordonnées (Chang, 2005).

La référence linéaire est une méthode de stockage de positions géographiques qui permet un positionnement relatif d'un objet ou d'un évènement à partir d'un système de mesure linéaire (coordonnée m). La distance entre un point de référence et un évènement (ponctuel ou linéaire) est utilisée pour positionner cet évènement sur une carte (ESRI, 2009). La figure 7 illustre ce principe.

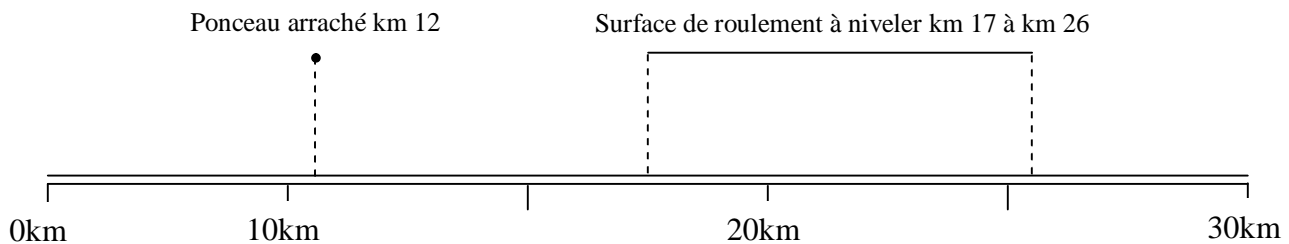


Figure 7. Système de référence linéaire

L'évènement ponctuel (ponceau arraché du km 12) et l'évènement linéaire (surface de roulement à niveler du km 17 au km 26) sont positionnés à partir du système linéaire et non pas à partir de coordonnées XY relevées au GPS.

2.1. CALIBRATION DES CHEMINS

La calibration des chemins est un processus qui permet d'attribuer une mesure sur un chemin en référence linéaire en fonction de bornes théoriques (début du chemin au km 0, fin du chemin au km (0 + longueur du chemin) ou de bornes implantées sur le terrain (panneau indicateur de kilométrage).

Dans le cas de bornes implantées sur le terrain, le processus de calibration ajuste les valeurs de mesure attribuées à chacun des sommets formant une ligne. Pour des erreurs de positionnement des bornes implantées, le processus ajuste les valeurs de mesure en fonction de la distance entre les sommets et la longueur totale de la ligne (ESRI, 2009).

Il est possible également de calibrer les chemins pour un besoin précis. Le point de départ de la route (kilomètre 0) peut être positionné à l'emplacement d'une usine de transformation. De cette façon, toutes les mesures se réfèrent à ce point de départ. Ainsi, ce type de calibration pourrait permettre de calculer des distances de transport relativement aisément pour une usine en particulier. Cette calibration serait propre à une usine donnée et ne respecterait pas les bornes implantées sur le terrain.

2.2. SEGMENTATION DYNAMIQUE

Chang (2005) définit la segmentation dynamique comme étant une procédure qui permet de localiser le long d'un segment routier des événements stockés en référence linéaire dans une table. ESRI (2009) indique que le terme dynamique réfère au fait que l'utilisateur n'est pas obligé de segmenter manuellement une ligne pour représenter un changement dans la valeur des attributs. La figure 8 illustre le concept de la segmentation dynamique.

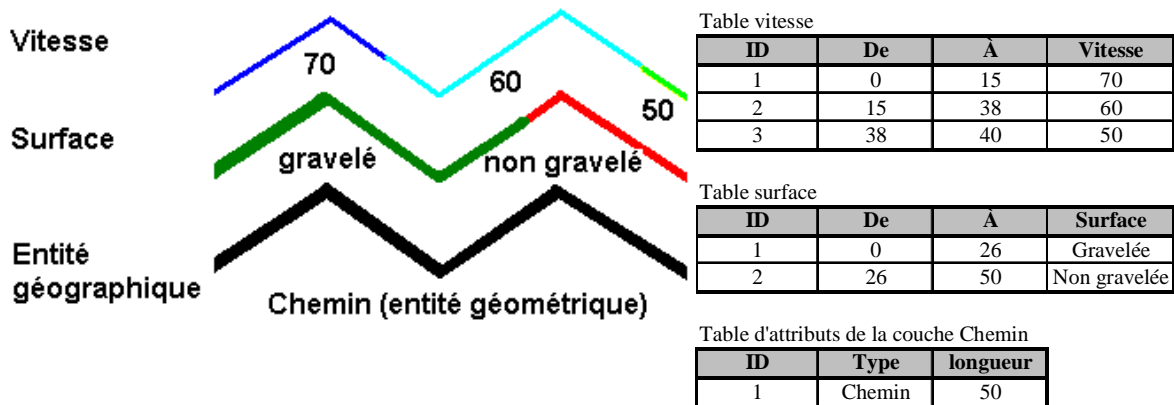


Figure 8. Exemple de segmentation dynamique

Dans l'exemple de la figure 8, l'entité géométrique sera toujours composée d'un seul segment. Le processus de segmentation dynamique permet d'afficher les thématiques (surface et vitesse) directement à partir des informations des tables de données descriptives. La référence linéaire est exprimée par les champs *De* et *À* des tables.

La référence linéaire et la segmentation dynamique ne sont que très peu utilisées en foresterie pour la gestion du réseau routier. Très peu d'acteurs ont mis en place une gestion par référence linéaire et les processus de calibration et de segmentation dynamique n'ont pas été testés avec des données provenant du domaine forestier. L'hypothèse principale posée dans le projet est que l'utilisation de la référence linéaire et des méthodes d'ingénierie de système faciliteront la gestion du réseau routier de la Mauricie.

3. OBJECTIFS

L'objectif général de ce projet est d'implanter, dans la région de la Mauricie, un modèle de gestion du réseau routier forestier basé sur la référence linéaire. Les objectifs spécifiques suivants ont été retenus :

- Modéliser conceptuellement le réseau routier forestier de la Mauricie;
- Structurer le réseau routier forestier principal⁴ de la Mauricie en référence linéaire;
- Proposer une méthode de mise à jour de l'information.

La réussite de ces objectifs permettra de corriger les différents problèmes illustrés auparavant et d'utiliser le réseau routier de la Mauricie dans des applications telles que celles décrites en introduction.

4. MÉTHODE

Ce type de projet nécessite une méthode de développement structurée. Des étapes de conception (« design ») précéderont la mise en place de la base de données. Ainsi, une vue d'ensemble du projet sera proposée dès le départ et le développement sera fait de façon méthodique. Une documentation complète accompagnera chacune des étapes.

4.1. CARACTÉRISATION DE L'INFORMATION

Des rencontres préparatoires (7) ont eu lieu entre les représentants du CERFO et de Kruger inc. entre le 25 janvier 2008 et le 23 juillet 2009. Ces rencontres ont permis de déterminer les informations à recueillir, proposer des définitions pour les différents attributs et identifier les sources d'information. Il a été déterminé lors de ces rencontres que le projet ne toucherait qu'aux chemins forestiers primaires et secondaires de la Mauricie.

À partir de l'information recueillie lors de ces rencontres, le CERFO a utilisé l'atelier de génie logiciel Perceptory⁵ pour modéliser le problème. Perceptory est un outil de modélisation conceptuelle de bases de données géospatiales. Il utilise des formalismes reconnus dans le milieu du développement géomatique (UML (Unified Modeling Language) étendu avec PVL spatiaux (Plug-in for Visual Language)). Cet outil a permis de créer deux modèles conceptuels qui contiennent les classes d'entités géométriques et descriptives sur lesquelles on veut conserver de l'information et les liens qu'elles ont entre elles. Un premier modèle montre la vision industrielle de la gestion du réseau routier forestier tandis qu'un deuxième en propose une vue plus générale.

Les deux modèles sont accompagnés d'un dictionnaire de métadonnées complet qui détaille les définitions retenues pour les objets ainsi que les différents domaines de valeurs qui décrivent ces

⁴ On entend, par réseau routier principal, les chemins publics asphaltés et les chemins forestiers primaires et secondaires seulement.

⁵ Site Web de Perceptory : <http://sirs.scg.ulaval.ca/perceptory/>

objets. Le dictionnaire de métadonnées étant très lourd, il n'est pas inclus avec ce rapport. Il sera fourni dans un fichier séparé à la CRÉ.

Cependant, l'annexe 1 contient la définition des catégories stratégiques de chemin élaborée par le CERFO et Kruger inc. La définition des catégories stratégiques a permis de les attribuer aux chemins de la Mauricie et ainsi permettre de sélectionner les chemins primaires et secondaires qui sont considérés dans ce projet.

Afin de garder la trace de certains événements qui surviennent sur le réseau routier, une gestion de l'historique de certaines données a été prévue dans les modèles conceptuels.

4.2. RECUEIL D'INFORMATION

Les rencontres préparatoires ont permis d'identifier plusieurs sources d'information géométriques sur le réseau routier forestier de la Mauricie. Les sources suivantes ont été retenues dans le projet :

- Couche du MRNF de Shawinigan
- Couche de Kruger inc.
- Couche du CERFO
- Couche du MTQ fournie par Kruger inc.
- Réseau routier national⁶

De plus, Kruger inc. a fourni d'autres couches pour les besoins du projet. Ces couches de localisation ont servi à la cartographie de fond et à la calibration des chemins en référence linéaire :

- Bornes relevées au GPS
- Camp forestier
- Unité d'aménagement forestier (UAF)
- Réseau hydrographique
- Affectations du MRNF
- ZEC
- Villes, villages et communautés autochtones
- Région administrative

Du côté sémantique, la caractérisation des catégories de chemin a été produite par Kruger inc. et fournie au CERFO.

Kruger inc. a également fourni au CERFO une vue partielle et incomplète des vitesses de transport par camions forestiers observés sur le réseau routier.

⁶ <http://www.geobase.ca>

4.3. STRUCTURATION DES ENTITÉS GÉOMÉTRIQUES

La structuration des entités géométriques a permis de produire une couche de chemin sans erreur de topologie et transformée en référence linéaire. Les sources de données répertoriées ont été analysées et les tracés les plus conformes à la réalité ont été retenus.

4.3.1. Structuration géométrique (correction topologique)

Une « topologie⁷ » a été créée dans ArcMap afin de valider la conformité topologique de la couche de chemins primaires et secondaires créée. Les règles suivantes ont été utilisées :

- Must Not Overlap – Un chemin ne doit pas se superposer avec un autre.
- Must Not Have Dangles – Un nœud pendant (« dangle ») est un sommet final d'une ligne qui n'est pas rattaché à une autre ligne – Permet de vérifier si les chemins sont bien interconnectés.
- Must Not Have Pseudonodes – Un pseudo-nœud est un nœud qui n'est pas rattaché à trois segments.
- Must Not Self Overlap – Un chemin ne doit pas se superposer avec lui-même.
- Must Not Self Intersect – Un chemin ne doit pas être en intersection avec lui-même.
- Must Be Single Part – Un chemin doit être en une seule partie.

La correction des erreurs identifiées par la « topologie » a été réalisée à l'aide des outils de correction topologique (Trim, Extend) et des outils d'édition usuels (Split, Merge, Explode).

Afin de corriger des problèmes reliés aux segments juxtaposés mais qui conservent plusieurs parties, l'outil de fusion (« Dissolve ») permet de créer des segments juxtaposés monoparties.

4.3.2. Numérotation des chemins

Chaque chemin a été numéroté selon une méthode proposée par le CERFO. Cette méthode est présentée à l'annexe 2. Cette nomenclature maison a permis de conserver le plus possible la numérotation existante et d'éliminer les doublons, souvent en ajoutant un chiffre à la position de la centaine. Pour certains chemins par contre, la nomenclature de la carte routière officielle de Transport Québec a été retenue⁸.

4.3.3. Calibration des chemins

Il a été retenu dans le projet de procéder à une calibration des routes en référence linéaire selon les bornes kilométriques. Quelques routes ont été calibrées avec des bornes relevées au GPS fournies par Kruger inc. Cependant, ces bornes n'ont pas été relevées pour tout le territoire.

⁷ Une topologie dans le langage d'ArcGIS est un objet d'une base de données géographique (geodatabase) qui permet, à l'aide de règles, de vérifier la conformité topologique d'une ou plusieurs couches de données.

⁸ [En ligne] MTQ, *Carte routière officielle*, http://www.inforoutiere.qc.ca/fr/carte_routiere/index.asp, page consultée le 28/08/2009.

Ainsi, une couche de points a été créée afin de réaliser la calibration des chemins en kilomètres. Toutes les bornes relevées au GPS fournies par Kruger ont été utilisées pour les chemins qui disposent de bornes kilométriques implantées sur le terrain. Dans les autres cas, des points créés aux intersections et à la fin des lignes ont complété cette couche. Un attribut de cette couche indique la valeur en kilomètres de chaque borne.

Afin de calibrer adéquatement la couche, il faut utiliser un rayon de recherche de 100 mètres pour les bornes. De cette façon, les imprécisions sur la localisation des bornes GPS n'affectent pas le résultat.

Tous les chemins forestiers de la Mauricie ont été calibrés de cette manière. Cependant, deux cas particuliers ont été rencontrés dans la calibration des routes. Un premier concerne la route 10 au nord de La Tuque. Le kilométrage de cette route débute à la fin de la route de La Croche jusqu'au kilomètre 175 à l'intersection de la route 013. Par la suite, le kilométrage reprend à 0 jusqu'à Parent. Un deuxième cas concerne une route qui forme une boucle, la route 024. Pour calibrer ce type de route, il a donc fallu la séparer en deux segments distincts et ajuster les points de calibration.

Les chemins publics qui comportent des bretelles et des viaducs posent un défi de calibration particulier. Une méthode a été développée pour calibrer les chemins publics. Cette méthode est présentée à l'annexe 3.

Il serait possible de calibrer les routes selon leur distance d'une usine en particulier avec le même jeu de points de calibration. Il s'agirait d'additionner les valeurs tout au long du réseau au lieu de repartir à zéro aux intersections comme dans la forme de calibration retenue dans le projet.

4.4. IMPLANTATION

Un prototype fonctionnel de base de données a été créé en utilisant le format « Personal Geodatabase » d'ESRI. Ce format est basé sur le système de gestion de base de données relationnelle Microsoft Access. Voici les avantages et inconvénients de cette structure :

Avantages

- Permet de stocker la géométrie et les attributs dans une même table;
- Permet d'implanter le modèle conceptuel en un modèle relationnel;
- Permet de créer facilement des domaines de valeurs;
- Facilite la mise à jour des événements à l'aide de formulaires;
- Permet de servir de base à l'élaboration d'un véritable système d'information.

Inconvénients

- Capacité limitée à 2 Go⁹;
- Nécessite deux interfaces de gestion (ArcMap pour la géométrie et Access pour les attributs);
- Format peu utilisé dans le milieu forestier;
- Problème avec les listes déroulantes dans ArcMap;
- Impossibilité d'utiliser les outils d'intégrité référentielle¹⁰.

4.4.1. Modèle relationnel

Un modèle relationnel graphique a été produit dans Access et implanté à l'aide d'ArcCatalog et d'Access. Le modèle relationnel décrit les tables créées dans la base de données ainsi que les relations entre celles-ci. Toutes les tables qui servent à stocker les attributs en référence linéaire ont été associées à des domaines de valeurs eux-mêmes stockés dans des tables. Ces domaines de valeurs permettent de conserver l'intégrité des valeurs inscrites dans les tables.

4.4.2. Validation

Pour s'assurer de la cohérence inter-attributs des données, des requêtes ont été programmées afin de vérifier la cohérence des données saisies dans les formulaires. Ces requêtes permettent d'identifier les cas d'incohérence dans les données.

4.5. MISE À JOUR DE L'INFORMATION

Il est important dans ce type de projet d'instaurer un mécanisme qui permet de conserver la qualité des données de la base de données lors de mises à jour. Pour ce faire, deux procédures ont été élaborées pour mettre à jour la géométrie des chemins et les différentes valeurs des caractéristiques de celui-ci.

4.5.1. Mise à jour de la géométrie

Une première procédure a été créée pour mettre à jour la géométrie de la couche de chemins du réseau routier de la Mauricie. Elle a été créée à partir des fonctionnalités disponibles dans le *Model Builder* disponible dans ArcGIS. Le *Model Builder* permet de créer un modèle dans lequel plusieurs outils de transformation de données sont utilisés dans une séquence bien définie. De cette façon, la mise à jour des entités géométriques dans la base de données est semi-automatisée et le risque d'erreur est réduit considérablement. Cette procédure est basée sur la création de points de calibration théoriques qui suivraient le kilométrage des routes. Dans le cas où des

⁹ Go : gigaoctet

¹⁰ Si on active l'intégrité référentielle, il n'est plus possible d'éditer une couche à partir d'ArcMap. Ce problème a été contourné en ajoutant une validation dans les formulaires en code VBA.

bornes kilométriques ont été relevées au GPS, la même procédure peut être utilisée avec de légères modifications.

4.5.2. Mise à jour des caractéristiques

Une procédure a été élaborée pour saisir ou mettre à jour les caractéristiques des chemins stockées en référence linéaire.

La procédure permet la saisie manuelle des caractéristiques à partir de formulaires créés dans Access. Les formulaires permettent la mise à jour des caractéristiques des chemins déjà implantés dans la base de données ainsi que la saisie des caractéristiques suite à la mise à jour de la géométrie ou de l'ajout de nouveaux chemins. Ces formulaires permettent également de gérer l'historique de certaines caractéristiques du chemin.

Il est possible aussi de saisir des données en lot dans la base de données suite à la saisie de nouvelles géométries.

5. RÉSULTATS

5.1. MODÈLE CONCEPTUEL DE DONNÉES

La figure 9 montre une vue simplifiée du modèle conceptuel retenu. On peut y apercevoir que deux vues ont été préparées, soit une vue industrielle et une vue générale. La vue industrielle orientée sur les opérations forestières (figure 10) contient l'ensemble des classes d'entités du modèle. Cette vue a été produite suite à l'insistance de Kruger inc. Cependant, cette vue place beaucoup d'emphase sur les chemins planifiés et en construction, ce qui va à l'encontre des objectifs fixés dès le départ.

Une vue plus générale a été produite pour les besoins du projet (figure 11). Elle s'intéresse particulièrement à tout ce qui touche à l'accès au territoire et mets de côté les chemins en construction et le suivi du réseau routier. Ces deux éléments pourront faire partie d'un projet plus ambitieux de création d'un véritable système d'information pour la gestion du réseau routier forestier. C'est ce modèle qui fera l'objet de l'implantation et de la création d'une base de données.

Réseau routier forestier de la Mauricie
Modèle conceptuel de la base de données
Vue simplifiée

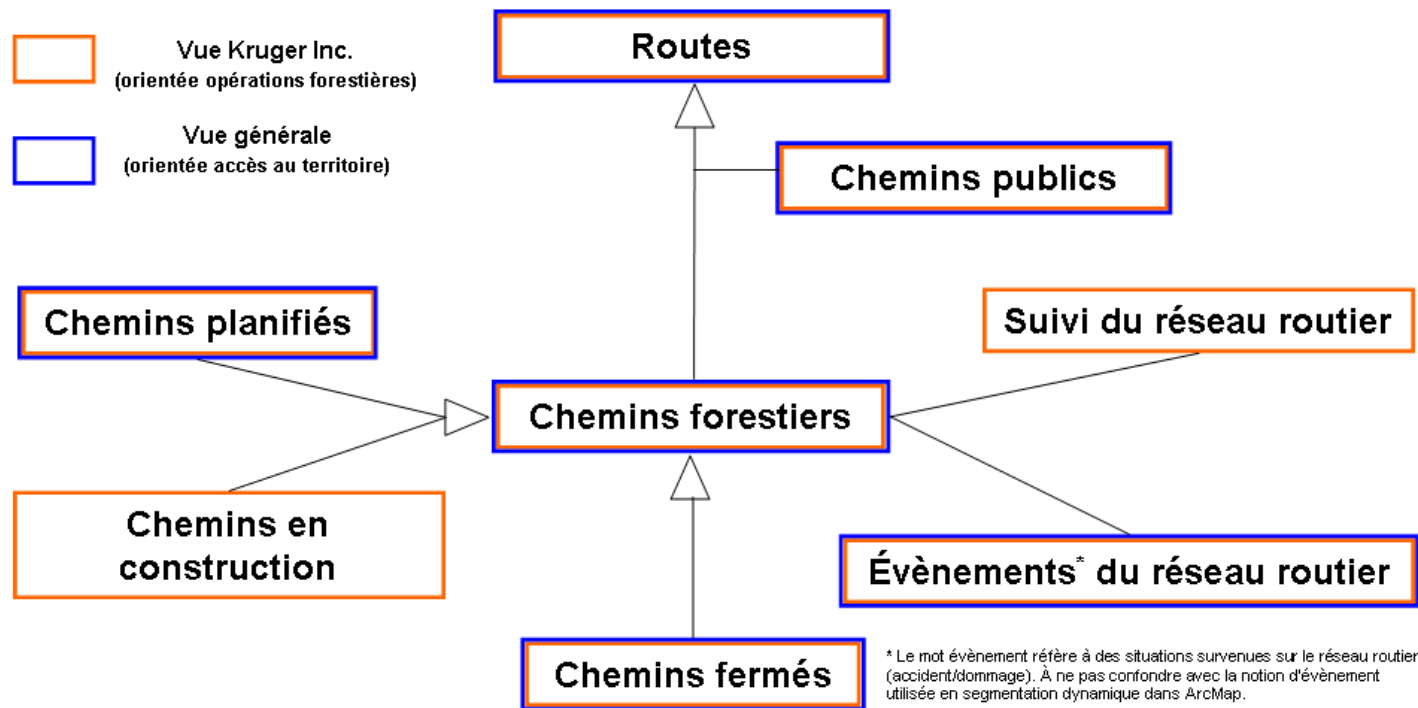


Figure 9. Vue simplifiée du modèle conceptuel de la base de données

Schema Information	
Project Name	Réseau routier forestier principal de la Mauricie
Schema Name	Modèle basé sur un système à référence linéaire
Organization	CERFO
Individual	Jean-Denis Grenier, Guillaume Pomerleau et Dominic Toussaint
File Name	L:\08-0421\Données\02_Modèle conceptuel (visio 2003)\Modèle conceptuel_vue_Kruger_final_VSD
Version	Finale
Version Date	27/10/2009



Réseau routier forestier de la Mauricie
Modèle conceptuel de la base de données
Vue spécifique à Kruger Inc.

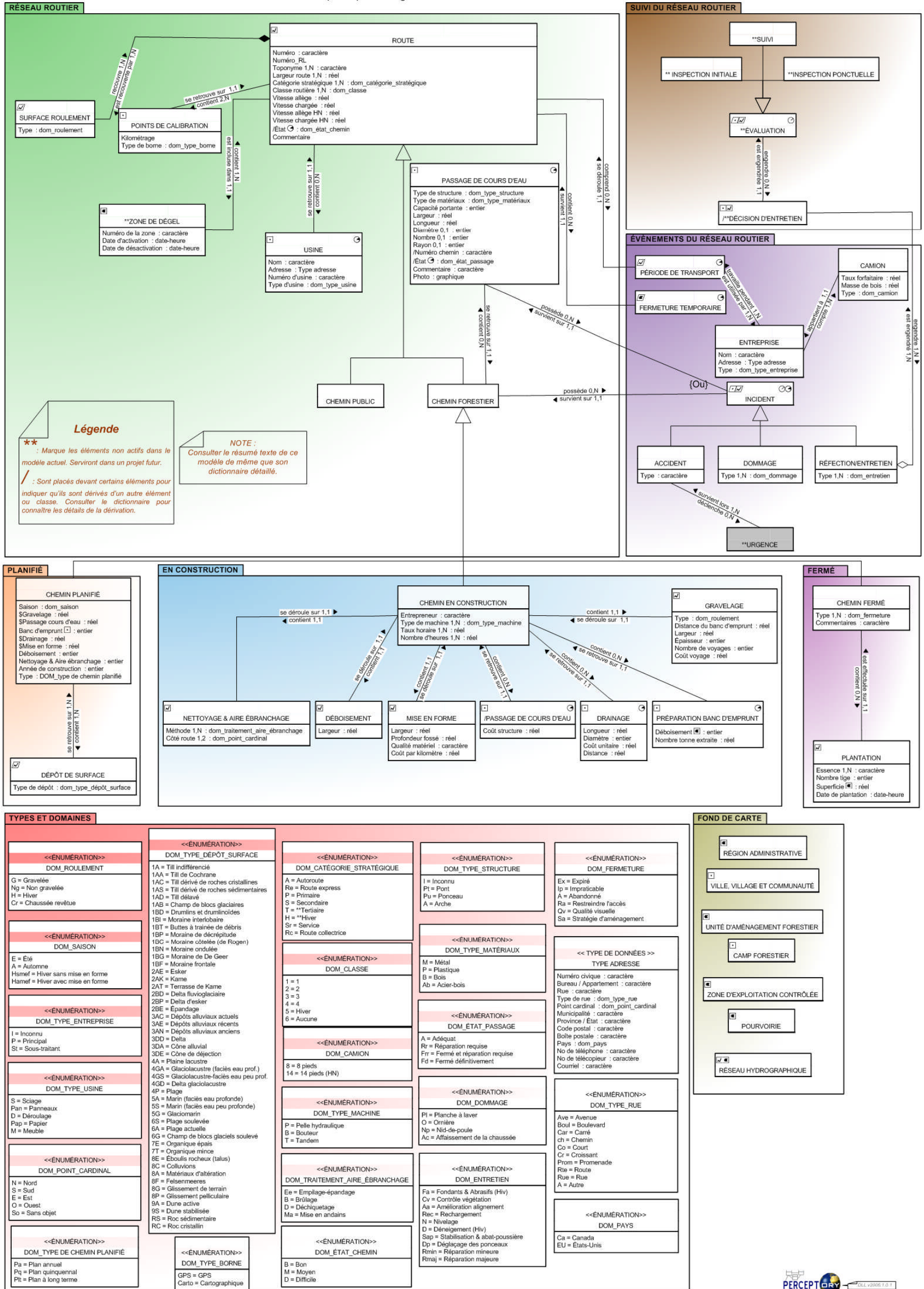


Figure 10. Vue industrielle du modèle conceptuel de la base de données

Schema Information			
Project Name	Réseau routier forestier principal de la Mauricie		
Schema Name	Modèle basé sur un système à référence linéaire		
Organization	CERFO		
Individual	Jean-Denis Grenier, Guillaume Pomerleau et Dominic Toupin		
File Name	L:\08-0421\Données\02_Modèle conceptuel (visio 2003)\Modèle conceptuel_vue_générale_final.VSD		
Version	Finale	Version Date	27/10/2009



Réseau routier forestier de la Mauricie
Modèle conceptuel de la base de données
Vue générale

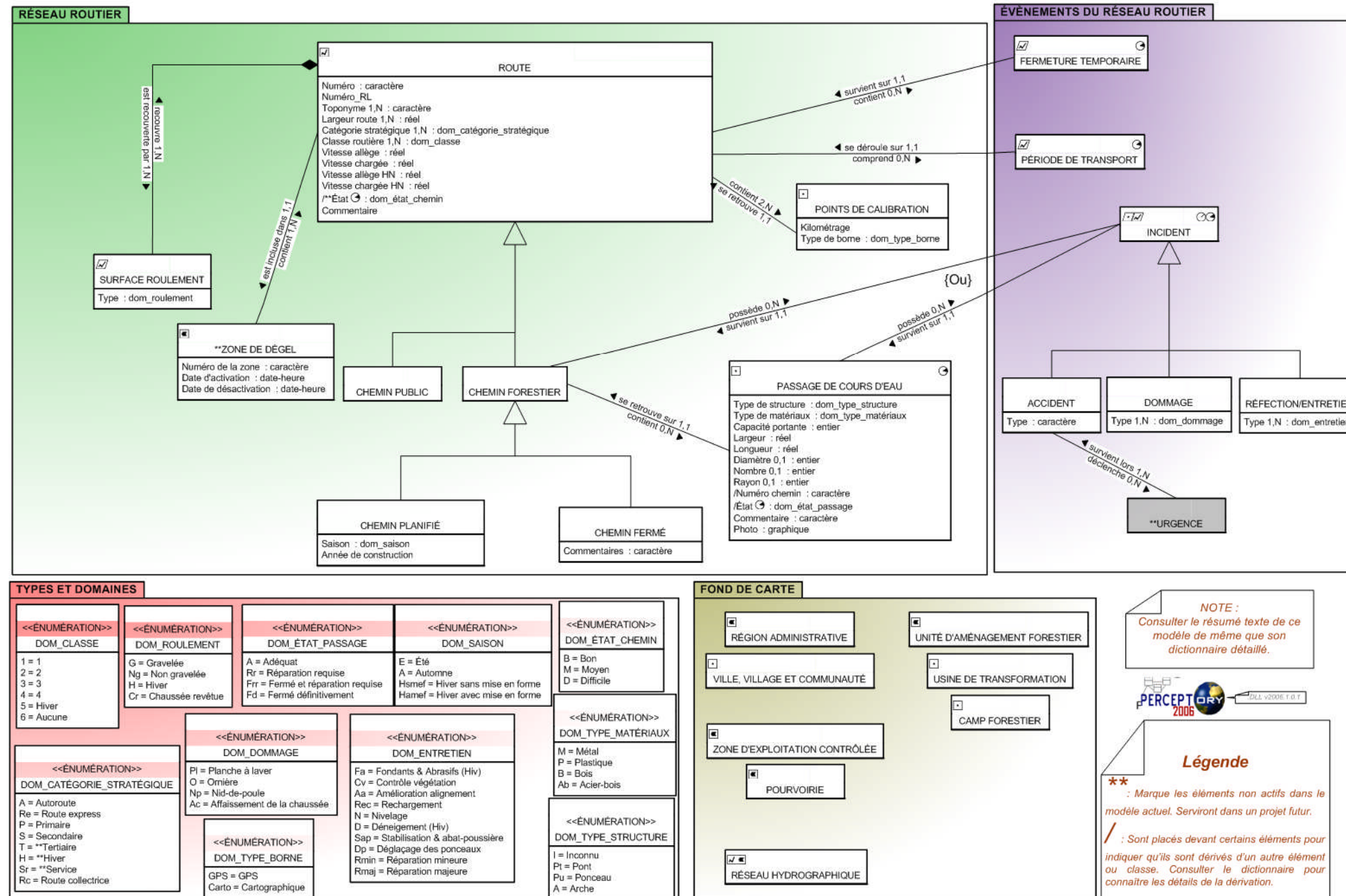


Figure 11. Vue générale du modèle conceptuel de la base de données

L'élément central du modèle conceptuel est la classe d'entités *Route*. Cette classe d'entités contient les attributs les plus importants dans le projet, soit la catégorie stratégique, la classe ainsi que les vitesses de transport.

Le paquetage¹¹ *Réseau routier* est complété par la classe d'entités *Passage de cours d'eau* qui contient tous les attributs qui permettent de décrire les ponts et les ponceaux importants sur le territoire. Le modèle permet aussi de décrire les chemins *planifiés* et *fermés*. L'information sur les chemins planifiés permettra de projeter les analyses dans le futur afin d'évaluer des distances de transport ou l'accès à des chantiers futurs. D'un autre côté, la fermeture définitive des chemins fait dorénavant partie des éléments à gérer par l'aménagiste forestier dans un contexte d'accès au territoire et d'aménagement écosystémique.

Un deuxième paquetage a servi à décrire la gestion des événements du réseau routier. En référence linéaire, il est facile d'identifier la localisation d'incidents (accident, dommage et réfection), de fermeture temporaire et de période de transport sur le réseau routier. Ainsi, le responsable régional de la gestion du réseau routier forestier pourra indiquer aux utilisateurs les routes ou sections de route où des événements pourront retarder ou nuire à la circulation en forêt. Un suivi de l'historique des événements sera implanté pour ces éléments. Il sera donc possible d'identifier les chemins les plus importants pour une réfection (taux d'accidents élevé, dommages récurrents) ou une amélioration (période de transport récurrente).

Le modèle conceptuel est complété par le paquetage *Fond de carte* qui contient les couches importantes de localisation sur le territoire et le paquetage *Types et Domaines* qui détaille les domaines de valeurs qui serviront à assurer l'intégrité sémantique dans le projet.

5.2. MODÈLE RELATIONNEL ACCESS

Le modèle conceptuel présentant la vue générale du projet a été traduit dans un modèle relationnel Access. La figure 12 montre ce modèle relationnel.

¹¹ Paquetage : Mécanisme général pour la partition des modèles et le regroupement des éléments de modélisation.

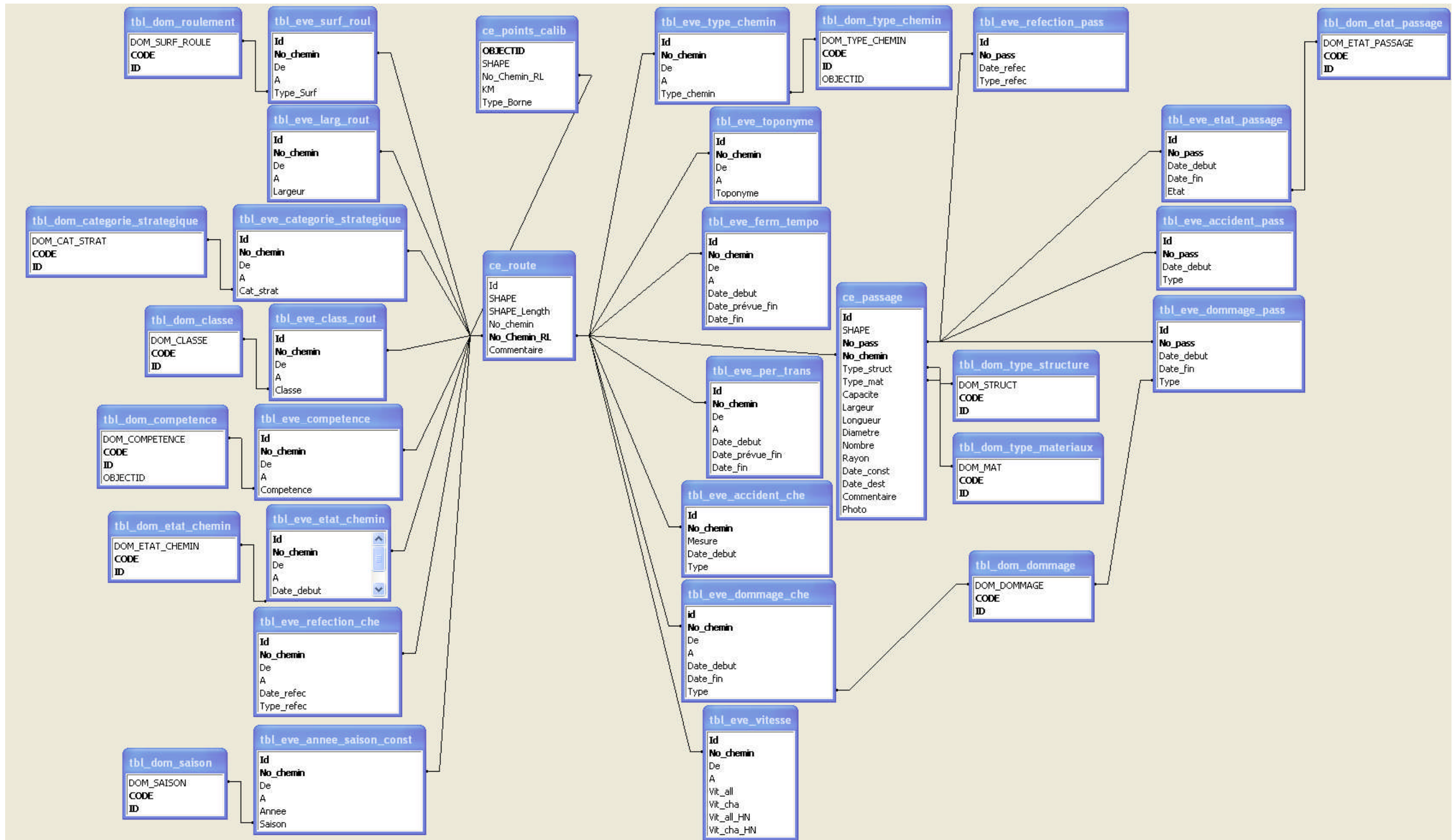


Figure 12. Modèle relationnel graphique Access

La particularité de ce modèle relationnel réside dans le fait que tous les attributs de la table *route* se retrouvent dans des tables distinctes. La segmentation dynamique permet de conserver intacts les segments formant les routes peut importe les attributs à afficher. De ce fait, l'information sur les attributs de la table *route* sera stockée en référence linéaire dans des tables distinctes et l'affichage des attributs sera fait par segmentation dynamique.

5.3. BASE DE DONNÉES GÉOSPATIALES

La base de données a été implantée dans Microsoft Access grâce au format *Personal Geodatabase* compatible avec ArcMap 9.3. Toutes les couches géospatiales sont stockées dans la base de données. Elle porte le préfixe *ce* pour classe d'entités (*Feature Class*). Les tables servant à stocker les caractéristiques en référence linéaire s'y retrouvent également avec le préfixe *tbl_eve* pour table événement (*Stand-Alone Event Table*). Les domaines de valeurs ont été implantés dans des tables. Celles-ci portent le préfixe *tbl_dom*.

Afin de gérer l'historique de certaines caractéristiques, des tables supplémentaires ont été ajoutées. Elles portent le suffixe *histo*.

Les tables suivantes de la base de données ont été remplies avec les données disponibles :

- *ce_route* (routes calibrées)
- *ce_points_calib* (points de calibration)
- *ce_affec* (centre d'hébergement)
- *ce_camp_fo* (camp forestier)
- *ce_hyd_surf04* (hydrographie surfacique)
- *ce_mun04* (municipalités)
- *ce_reg_adm04* (région 04)
- *ce_riv_st_mau* (rivière St-Maurice)
- *ce_uaf04* (UAF Mauricie)
- *ce_usine* (usine de transformation)
- *ce_zec04* (ZEC de la Mauricie)
- *tbl_eve_competence* (public ou forestier)
- *tbl_eve_surf_roul* (surface de roulement)
- *tbl_eve_categorie_strategique* (catégorie)
- *tbl_eve_type_chemin* (existant ou planifié)
- Toutes les tables des domaines de valeurs

5.4. PROCÉDURES DE SAISIE ET DE MISE À JOUR DE L'INFORMATION

Les données spatiales et les caractéristiques des routes implantées dans la base de données peuvent être mises à jour. Pour ce faire, trois procédures ont été développées dans le projet : une pour la mise à jour de la géométrie et deux autres pour la mise à jour des caractéristiques.

5.4.1. Mise à jour de la géométrie

La procédure développée pour mettre à jour la géométrie diffèrera légèrement si l'utilisateur dispose de bornes kilométriques relevées au GPS ou pas.

5.4.1.1. Mise à jour sans borne relevée au GPS

La procédure de mise à jour de la géométrie dans la base de données est une méthode semi-automatique. Elle comporte quelques étapes qui devront être effectuées manuellement tandis que d'autres se feront automatiquement grâce à des modèles créés dans le *Model Builder* d'ArcMap. L'annexe 4 montre comment installer les modèles dans ArcToolBox et comment les utiliser. Il est à noter que cette procédure permet de gérer les routes simples. Pour la mise à jour de routes complexes, consulter l'annexe 3.

Étape 1 - Préparation des couches

Cette étape consiste à préparer manuellement la géométrie et les attributs d'une couche de chemins qui contient les chemins à ajouter ou à mettre à jour. Il faut s'assurer que tous les chemins à ajouter dans la base de données :

- Sont composés en une seule entité (1 enregistrement par chemin);
- Sont stockés en une seule partie (voir la figure 3);
- Ne contiennent pas d'erreur de topologie;
- Se connectent à un chemin existant de la table *ce_route* de la base de données.

Si un chemin à ajouter vient mettre à jour le tracé d'un chemin déjà stocké dans la table *ce_route*, il faut s'assurer d'effacer ce segment dans la table *ce_route* avant de faire la mise à jour.

Il est suggéré à cette étape d'utiliser une topologie dans ArcMap pour identifier les erreurs dans la couche de chemins à ajouter. Les règles suivantes devraient être utilisées :

- Must Not Overlap – Un chemin ne doit pas se superposer avec un autre.
- Must Not Have Dangles – Un nœud pendant (« dangle ») est un sommet final d'une ligne qui n'est pas rattaché à une autre ligne – Permet de vérifier si les chemins sont bien interconnectés.
- Must Not Have Pseudonodes – Un pseudo-nœud est un nœud qui n'est pas rattaché à trois segments.
- Must Not Self Overlap – Un chemin ne doit pas se superposer avec lui-même.
- Must Not Self Intersect – Un chemin ne doit pas être en intersection avec lui-même.
- Must Be Single Part – Un chemin doit être en une seule partie.

Étape 2 – Numéroté les chemins

La deuxième étape consiste à créer deux attributs automatiquement dans la couche de chemins à ajouter. Les attributs *No_Chemin* et *No_Chemin_RL*¹² contiendront respectivement le numéro de chemin et le numéro de chemin spécial pour la référence linéaire (voir section sur la calibration des chemins). Pour créer ces attributs, un premier modèle a été créé avec le *Model Builder*

¹² Dans un fichier de formes (Shapefile), il n'est pas possible de créer un champ avec un nom qui comporte plus de 10 caractères. Le champ *No_Chemin_RL* sera tronqué et s'appellera *No_Chemin_*.

d'ArcMap. Il s'agit donc d'utiliser le modèle *02 - Ajouter champs numéro chemin* afin d'ajouter les attributs automatiquement.

Il faut ensuite numéroter les nouveaux chemins ou les chemins à mettre à jour selon les spécifications présentées à l'annexe 2 et ce, sans créer de doublons.

Étape 3 – Fusionner les nouveaux chemins avec les anciens

Cette étape consiste à fusionner les nouveaux chemins avec les chemins existants dans la table *ce_route*. Elle permet également de vérifier la connexion entre les nouveaux chemins et les chemins existants. Pour faire la fusion, il faut utiliser le modèle *03 - Fusionner les nouveaux chemins dans la base de données*.

Afin de fournir un outil pour vérifier les erreurs de connexion, une topologie a été créée dans la base de données. Cette topologie est mise à jour lors de l'utilisation de ce modèle.

Étape 4 – Corriger les erreurs de connexion avec nouveaux chemins

Il faut afficher, dans ArcMap, la topologie *JCE_Topologie* qui a été mise à jour à l'étape précédente. Elle permet d'identifier les erreurs de connexion entre les nouveaux chemins et ceux déjà présents dans la table *ce_route*. Suite à cette identification, il faut corriger les erreurs de topologie avec les outils d'édition usuels.

Étape 5 – Créer les nouveaux points de calibration

Un modèle a été créé pour générer les nouveaux points de calibration. Ce modèle génère un point aux intersections de chemins ainsi qu'au dernier sommet formant un chemin. Pour ce faire, il faut utiliser le modèle *05 - Créer les points de calibration*.

Il est à noter que cette procédure est applicable seulement si des bornes GPS ne sont pas disponibles pour le chemin à mettre à jour. Dans le cas où des bornes ont été relevées avec un GPS, consulter la section 5.4.1.2.

Étape 6 – Fusionner les points avec la couche des points de validation

Cette étape consiste à assigner le kilométrage de départ et d'arrivée théorique pour chacun des points de calibration. Le modèle transfère également les nouveaux points de calibration dans la couche *ce_points_calib*. Le modèle à utiliser est *06 - Fusionner les points avec la couche des points de calibration*.

Suite à cette étape, si l'utilisateur veut modifier les kilométrages théoriques pour exprimer ceux utilisés sur le terrain, il est possible de le faire manuellement dans la couche *ce_points_calib*.

Étape 7- Calibrer la nouvelle route

Le modèle *07 - Calibrer la nouvelle route* permet de calibrer les nouvelles routes et de les insérer dans la couche géospatiale *ce_route*.

5.4.1.2. Mise à jour avec des bornes relevées au GPS

Dans le cas où des bornes ont été relevées avec un GPS, une procédure distincte doit être employée. Les étapes 1 et 2 de la procédure précédente doivent être réalisées afin de structurer et numéroter les nouveaux chemins. Il faut également structurer la couche de points GPS qui contient les bornes de cette façon :

Nom du champ	No_Chemin_RL	KM	Type_Borne
Type de champ	Texte	Numérique réel simple (float)	Texte
Valeur	Numéro du chemin	Kilométrage	GPS

Figure 13. Structure de la table d'une couche de points GPS représentant des bornes kilométriques

L'étape 3 de fusion des chemins doit également être réalisée afin de corriger les erreurs de topologie (étape 4). L'étape 5 doit être réalisée car elle permet de créer une couche temporaire de chemin utile à l'étape 7. L'étape 6 n'est pas à exécuter puisque les points ne sont pas créés automatiquement dans ce cas-ci. Il faut tout de même ajouter les points GPS à la couche *ce_points_calib*. Pour ce faire, il suffit d'utiliser l'outil *Append* disponible dans ArcToolBox.

Finalement, l'utilisateur peut calibrer les routes en utilisant le modèle de l'étape 7.

5.4.2. Mise à jour des caractéristiques

Deux procédures ont été développées pour mettre à jour les caractéristiques. La première est complètement manuelle tandis que la deuxième utilise des fonctionnalités de traitement en lien avec la référence linéaire.

5.4.2.1. Mise à jour manuelle

Vingt formulaires ont été préparés afin de faciliter la saisie manuelle des caractéristiques stockées en référence linéaire. La plupart des formulaires permettent de stocker la caractéristique en particulier ainsi que sa référence linéaire. D'autres formulaires possèdent en plus, un bouton qui gère l'historique des données. Afin de naviguer dans ces formulaires, un formulaire principal donne accès aux autres formulaires. La figure 14 montre le formulaire principal.

Formulaire principal

Réseau routier forestier principal de la Mauricie

Choisissez le type d'attributs à saisir ou à consulter :

Attributs des chemins :

Compétence	Année de construction
Surface de roulement	Type de chemin
Catégorie	Classe
Vitesse	Largeur
Toponyme	État des chemins

Évènements survenus sur les chemins :

Période de transport
Fermeture temporaire
Domage causé aux chemins
Accident sur les chemins
Réfection/entretien

Attributs des passages de cours d'eau :

Attributs des passages
État des passages

Évènements survenus sur les passages de cours d'eau :

Domage causé aux passages
Accident sur les passages
Réfection/entretien

Quitter



Figure 14. Formulaire principal

Les différents formulaires ont été séparés en quatre groupes, soit les attributs des chemins, les attributs des passages de cours d'eau, les évènements survenus sur les chemins ainsi que les évènements survenus sur les passages de cours d'eau. Tous ces formulaires sont accessibles d'un clic du bouton de la souris.

Formulaire de base

Le formulaire de base contient trois sections. Après une mise à jour de la géométrie, le numéro de chemin sera indiqué dans la première section. Il faut indiquer la référence linéaire dans la deuxième section (kilométrage de début et de fin de la caractéristique). La figure 15 montre un exemple de formulaire de base.

Saisie des catégories stratégiques de chemin

Réseau routier forestier principal de la Mauricie

Saisie des catégories stratégiques de chemin





1 - Inscrivez le numéro de chemin: Numéro de chemin

2 - Inscrivez le kilométrage de début et de fin de section: Kilométrage de début: Kilométrage de fin:

3 - Inscrivez la catégorie de chemins de cette section. Catégorie de chemins:

Clé:

[Retour](#)

Enr : sur 502

Figure 15. Exemple de formulaire de base

Formulaire avec gestion de l'historique

Un autre type de formulaire permet de gérer l'historique de certaines caractéristiques. Une section permet d'indiquer une date de début et une date de fin pour un évènement en particulier. Un bouton *Archiver* permet de transférer l'enregistrement dans une table d'archive et d'indiquer une nouvelle valeur pour un segment de chemin donné. La figure 16 montre ce type de formulaire.

Saisie des dommages causés aux chemins

Réseau routier forestier principal de la Mauricie

Saisie des dommages causés aux chemins

1 - Inscrivez le numéro de chemin:
 Numéro de chemin:


2 - Inscrivez le kilométrage de début et de fin de section:
 Kilométrage de début:
 Kilométrage de fin:

3 - Indiquez la date de début, c'est-à-dire la date d'évaluation du chemin:
 Date de début: Obligatoire

4 - Indiquez le type de dommage:
 Type de dommage:

5 - La date de fin correspond à la date où le chemin a été réparé. Lorsque le chemin a été réparé, inscrivez une date de fin et cliquez sur le bouton Archiver :
 Date de fin:

Clé:



Enr : sur 1

Figure 16. Formulaire avec gestion de l'historique

5.4.2.2. Mise à jour à partir d'une couche

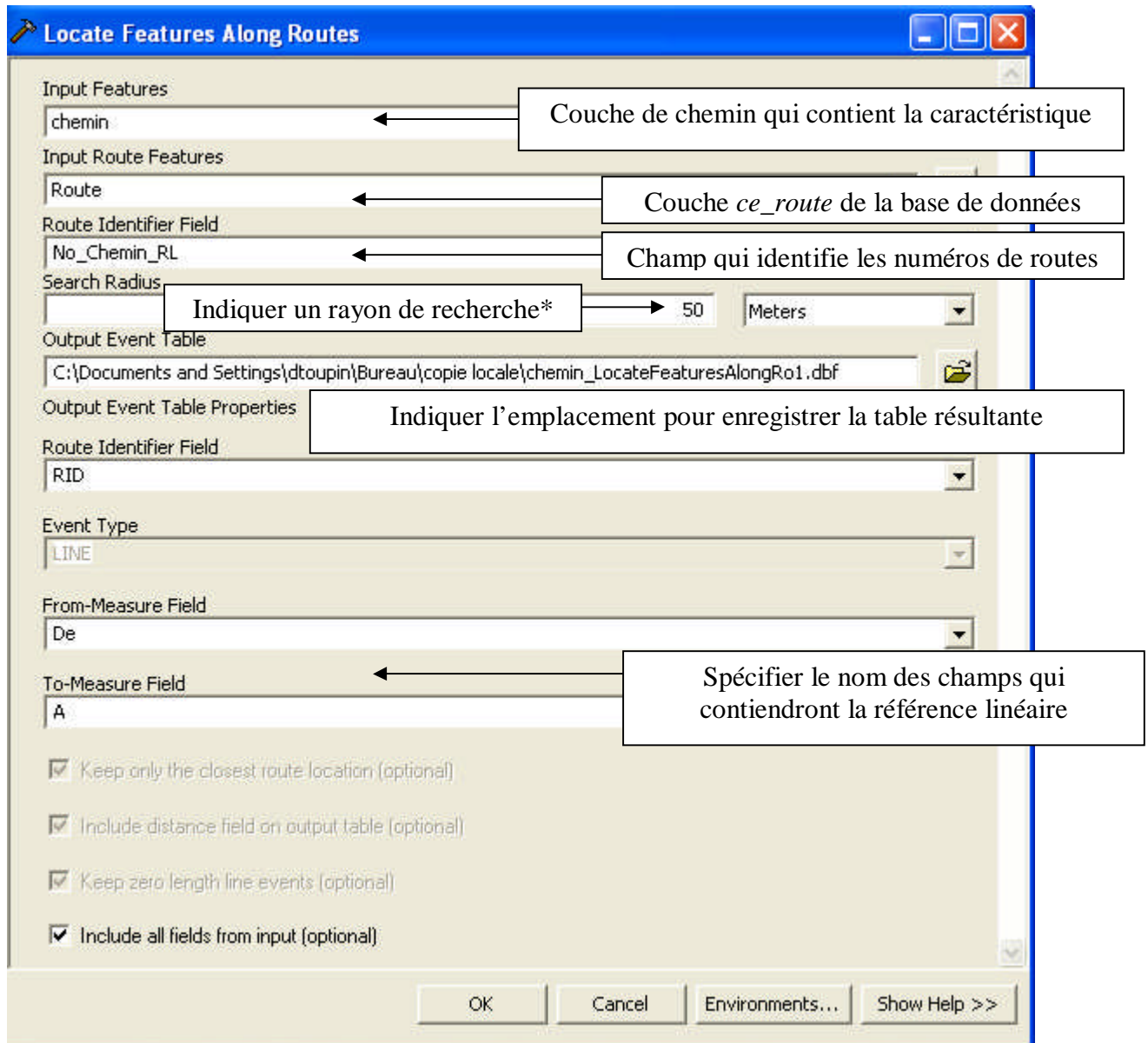
Il est possible de générer la référence linéaire (champs De et À) pour une caractéristique donnée à partir d'une couche de chemins segmentés. Un outil de géotraitement disponible dans ArcMap 9.3 permet de générer une table contenant la caractéristique ainsi que la référence linéaire. Les lignes qui suivent indiquent la procédure à suivre pour générer la table et l'inclure dans la base de données.

Étape 1 – Ajuster les valeurs de la caractéristique selon les domaines de valeurs

Il faut, au préalable, préparer les données pour que les valeurs de la caractéristique qui va être mise à jour respectent les domaines de valeurs de la base de données.

Étape 2 – Générer la table en référence linéaire

L'outil à utiliser s'appelle *Locate Features Along Routes* dans la boîte à outils *Linear Referencing* de *ArcToolBox*. La figure 17 montre un exemple d'utilisation de cet outil.



* Le rayon de recherche servira d'ajustement pour tenir compte des différences de tracé entre la couche qui contient la caractéristique et la couche ce_route.

Figure 17. Interface de l'outil *Locate Features Along Routes*

Étape 3 – Ajuster les valeurs obtenues

Il faut par la suite ajuster les valeurs obtenues dans la table résultante et conserver seulement celles qui sont valides (le rayon de recherche créera des artéfacts dans la table).

Étape 4 – Copier le résultat dans la base de données

Il faut ensuite copier le résultat dans la base de données. Pour ce faire, il faut utiliser l'outil *Append* de *ArcToolBox*.

6. DISCUSSION

L'hypothèse principale posée dans le projet est que l'utilisation de la référence linéaire et des méthodes d'ingénierie de base de données faciliteront la gestion du réseau routier de la Mauricie.

Tout d'abord, le réseau routier de la Mauricie a été conceptualisé à l'aide d'une méthode d'ingénierie reconnue dans le développement des bases de données géospatiales. Les deux modèles produits peuvent servir de base à tous autres projets de conception de bases de données géospatiales de réseau routier. Ces modèles pourraient être exportés dans les autres régions du Québec afin que des concepteurs puissent s'en inspirer, les améliorer et/ou les adapter à leur réalité régionale.

Cette étape de conceptualisation a facilité grandement l'implantation dans une base de données géospatiales. Grâce au modèle conceptuel, l'implantation s'est faite de manière structurée en évitant de travailler par itérations. Les spécialistes du développement de bases de données géospatiales estiment qu'un changement qui coûte 1 \$ lors de la modélisation, coûtera 10 \$ à faire lorsque la base de données sera créée et 100 \$ lorsque les données auront peuplé les tables de la base de données (Bédard, 1999). On voit l'avantage de la conceptualisation et du recours à des techniques d'ingénierie.

La conceptualisation et l'utilisation des domaines de valeurs permettent de régler le problème du manque d'intégrité sémantique des données. Il est donc possible de valider les valeurs inscrites dans les tables et de s'assurer qu'elles respectent le dictionnaire sémantique produit avec le modèle conceptuel.

L'utilisation de la référence linéaire permet de faciliter la gestion d'un réseau routier forestier car elle simplifie les segments qui forment le réseau. Sauf exception, les routes forestières sont toutes formées d'un seul segment continu. Vu que les caractéristiques qui forcent la segmentation en référence planaire sont stockées dans des tables en référence linéaire, le nombre d'enregistrements dans la table *ce_route* est 10 fois moindre que dans les sources de données fournies par les partenaires. Il est donc beaucoup plus facile d'assurer l'intégrité géométrique et topologique des segments. Le processus de segmentation dynamique permet, quant à lui, de recréer les couches segmentées automatiquement et sur demande.

Il faut noter, cependant, que la gestion des routes publiques qui comportent des bretelles, des viaducs et des sens uniques est légèrement complexifiée lorsqu'on utilise la référence linéaire. L'annexe 3 propose néanmoins une méthode qui permet de gérer les routes publiques en référence linéaire.

Les travaux de sélection des tracés et de caractérisation des routes accomplis par le CERFO et Kruger inc. pavent la voie vers un premier consensus régional en matière de réseau routier forestier. Ils proposent un tracé pour les chemins principaux, une catégorie et des attributs standardisés.

Cependant, il a été difficile d'obtenir de l'information des partenaires sur les vitesses de transport, les bornes kilométriques relevées au GPS ainsi que sur les passages de cours d'eau. Ces éléments demeurent à compléter dans la base de données.

Kruger inc. a mentionné dès le début du projet qu'il fallait porter une attention particulière à la mise à jour des données dans la base de données. Ainsi, des procédures et des formulaires ont été prévus afin de mettre à jour la géométrie et les caractéristiques du réseau routier. La mise à jour est donc facilitée et surtout se fait dans l'esprit de conserver les qualités géométriques et topologiques des segments du réseau routier.

Lors de la modélisation, il a été prévu également de préparer la base de données pour stocker les informations sur les accidents, les dommages et l'entretien du réseau routier. Quoique peu discuté dans ce document, la base de données peut servir à améliorer la sécurité sur le réseau routier. La CRÉ de la Mauricie pourrait aisément diffuser sur le Web des informations sur des sections dangereuses ou en réparation afin d'informer les différents utilisateurs du réseau. De plus, elle pourrait gérer plus efficacement l'entretien des chemins en stockant les informations sur l'historique des réfections sur le territoire. Ces utilisations s'implanteront facilement grâce à la référence linéaire.

Malgré le manque d'information sur les vitesses de transport, le réseau routier contenu dans la base de données est suffisamment bien structuré pour être utilisé dans diverses applications. Il peut être intégré dans des outils d'aide à la décision (Woodstock de Remsoft, ArcGIS Network Analyst) afin de calculer des distances de transport et d'en tenir compte pour optimiser la planification forestière.

Finalement, malgré le manque de données sur les bornes kilométriques relevées au GPS, la base de données pourrait servir également à produire des tracés de chemins pour les villégiateurs afin de se rendre à leurs lieux de prédilection à partir d'une interface Web.

CONCLUSION

Afin de proposer une solution aux problèmes identifiés sur le réseau routier forestier de la Mauricie, ce projet a utilisé une méthode d'ingénierie afin de conceptualiser une solution et de l'implanter dans un outil facile à gérer et dans lequel les données se mettent à jour facilement.

Le projet démontre que le principe de la référence linéaire s'applique très bien au réseau routier forestier de la Mauricie et en facilite la gestion. Le réseau routier forestier, de par sa simplicité, se transforme directement en référence linéaire à la suite d'une procédure simple à réaliser. L'application de la segmentation dynamique permet de faciliter la gestion des caractéristiques du réseau. La transformation du réseau routier public demeure néanmoins un peu plus ardue à cause des bretelles et des viaducs.

La méthode d'ingénierie utilisée dans ce projet a permis de proposer un modèle conceptuel du réseau routier de la Mauricie qui illustre les informations importantes à stocker et propose des définitions qui visent à unifier, dans une vision régionale, les différentes données disparates sur les routes. Le modèle est exportable dans d'autres régions et peut servir de base à la création d'un véritable système d'information géospatiale.

Le projet a permis la création d'un prototype fonctionnel de base de données géospatiales bâti à partir du modèle conceptuel développé. Cette base de données, quoique incomplète du côté des attributs du réseau routier, contient les éléments les plus importants au projet : une couche des routes principales calibrées en référence linéaire sans erreur de topologie, la catégorie stratégique et la surface de roulement de chaque route. Des vitesses de transport de bois par camions y ont été ajoutées pour une partie du réseau.

Pour compléter la base de données, des efforts devront être consentis pour collecter de l'information sur les attributs manquants. Plusieurs attributs devront être acquis par des industriels de la Mauricie, du MRNF ou mesurés sur le terrain. Le prototype de la base de données est quant à lui prêt à stocker ces attributs.

Le manque de qualité du réseau routier était jusqu'à maintenant un frein au développement de projets géomatiques et d'aide à la décision. Ce projet permet de mettre en place une solution afin d'améliorer la qualité du réseau routier pour l'utiliser dans des projets porteurs dans le but d'améliorer l'accès au territoire et l'aménagement des forêts de la Mauricie.

BIBLIOGRAPHIE

Bédard, Y., 1999. Principles of Spatial Database Analysis and Design: GIS : Principles, Techniques, Applications & Management, Wiley, 2nd Ed., Chap. 29, p.413-424.

Chang, K.-T., 2005. Introduction to Geographic Information Systems. McGraw-Hill Higher Education, Third Edition, 432 pages, ISBN : 0-07-282682-7.

ESRI, 2009. An overview of linear referencing – ArcGIS 9.3 Webhelp topic, 3 pages, [En ligne] <http://webhelp.esri.com>

ANNEXE 1. DÉFINITION DES CATÉGORIES DE CHEMIN

Définitions des catégories de chemins publics et forestiers

Ces définitions sont librement inspirées de celles que l'on retrouve dans le Manuel de foresterie, nouvelle édition revue et augmentée¹³ pour les chemins forestiers et sur le site Web de la Géobase¹⁴ pour les chemins publics. Elles ont été modifiées pour tenir compte du contexte spécifique au projet.

Chemin public asphalté

Autoroute : Voie de circulation à accès contrôlé, exclusivement réservée à la circulation rapide, ne comportant habituellement aucun croisement de même niveau ni aucun accès à des propriétés et accessible seulement par des bretelles aménagées à cet effet. Les piétons y sont interdits. Elle permet la circulation des camions forestiers à une vitesse ≥ 80 km/h.

Route express : Voie de circulation à accès contrôlé, aménagée pour la circulation rapide et comportant des croisements de même niveau à certains carrefours. Elle permet la circulation des camions forestiers à une vitesse variant de 50 à 90 km/h.

Route collectrice : Voie de circulation mineure utilisée principalement pour accéder à des propriétés et pour canaliser le trafic routier vers des routes plus importantes. Elle permet la circulation des camions forestiers à une vitesse variant de 30 à 90 km/h.

Chemin forestier

Chemin forestier primaire : Chemin forestier permanent conçu pour une durée de vie de 10 ans et + qui est connecté directement à une usine de transformation, à un autre chemin primaire ou au réseau de chemins publics. Ce type de chemin donne l'accès à un territoire d'approvisionnement, à une communauté forestière isolée ou à une communauté autochtone (pôle de service permanent). Les camions forestiers y circulent à une vitesse élevée (≥ 70 km/h). La personne responsable de l'entretien de ce type de chemin connaît l'état du chemin et des infrastructures qui le composent. Il y affecte une stratégie et/ou une entente d'entretien régulier.

Chemin forestier secondaire : Chemin forestier permanent conçu pour une durée de vie de 3 à 10 ans qui est connecté au réseau de chemins primaires. Ce chemin permet l'accès aux grands secteurs d'approvisionnement, aux zones sous aménagement et aux différents pôles de service permanents ou saisonniers en forêt. Les camions forestiers y circulent à une vitesse inférieure que sur le réseau de chemins primaires. La personne responsable de l'entretien de ce type de chemin connaît l'état du chemin et des infrastructures qui le composent. Il y affecte une stratégie d'entretien et/ou une entente d'entretien au besoin.

¹³ Desautels, R., R. Després, F. Dufresne, G. Gilbert, S. Leblanc, L. Méthot, Y. Provencher, G. Rochette, B. Sénécal et C. Warren, 2009. Voirie forestière dans Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Manuel de foresterie, 2^e éd. Ouvrage collectif, Éditions MultiMondes, Québec, p.1187-1244.

¹⁴ http://www.geobase.ca/doc/specs/pdf/GeoBase_CatalogueEntites_VueSegmentee_RRN_FR.pdf

Chemin forestier tertiaire : Chemin d'extraction situé dans les secteurs annuels d'intervention conçu pour une durée de vie plus courte que 3 ans. Les camions forestiers y circulent à une vitesse lente. Ces chemins n'ont pas de stratégie d'entretien spécifique.

Chemin forestier d'hiver : Chemin d'extraction situé dans les secteurs annuels d'intervention conçu pour être utilisé durant une seule saison de gel hivernal. Les camions forestiers y circulent à une vitesse lente et ne peuvent y circuler une fois la saison de gel hivernal terminée.

Chemin forestier de service : Chemin forestier permanent ou saisonnier qui permet d'accéder à un pôle de service mais qui ne sert pas aux travaux d'aménagement forestier. Ce chemin permet l'accès aux pôles de service autres que les communautés forestières isolées et les communautés autochtones. L'entretien de ces chemins est réalisé à la discrétion du fournisseur de service.

Note : La catégorie *Chemin forestier de service* a été définie avec les responsables de Kruger inc. Cependant, ils n'ont pas utilisé cette catégorie lors de la caractérisation du réseau routier. Ainsi, on ne retrouvera pas cette catégorie dans la base de données.

ANNEXE 2. MÉTHODE DE NUMÉROTATION DES CHEMINS

Objectifs

- Maintenir la numérotation des routes principales existantes en effectuant le minimum de modification.
- Chaque numéro de route ne peut pas être associé à plus d'une route pour permettre l'implantation de la référence linéaire sur l'ensemble du réseau routier de la région 04.
- La numérotation doit être simple et intuitive afin d'être facilement applicable sur le terrain.
- La numérotation doit permettre d'attribuer un numéro autant aux chemins principaux qu'aux chemins d'opération.

Principes de la numérotation

- La numérotation est dichotomique, c'est-à-dire qu'un chemin principal se segmente en chemins secondaires et ensuite tertiaires.
- La numérotation utilise en partie le kilométrage des chemins et en partie un système de numérotation séquentiel des fourches.
- Les segments de chemins considérés comme des virées pour véhicule ou des reculons sont cartographiés, mais pas numérotés.
- La numérotation des chemins principaux est indépendante de la numérotation des chemins tertiaires.
- La numérotation des chemins tertiaires est dépendante de la numérotation des chemins de catégorie primaire et secondaire.
- La numérotation est indépendante de la localisation du chemin sur le territoire, à part pour les chemins principaux.
- Aucune référence n'est faite à la destination des bois, qu'un chantier peut alimenter plusieurs usines.

Méthode

Voici la méthode en fonction du niveau de fragmentation du réseau routier. On considère que le réseau peut se diviser en seulement trois niveaux de segments.

Segment 1 : Routes principales

La numérotation des routes de catégorie primaire et secondaire, soit les chemins principaux, reste identique à celle qui a été définie. Cette numérotation se compose de trois caractères.

Pour les numéros qui se retrouvent en double sur le territoire de la région 04, il est proposé d'utiliser le même numéro qui est en place mais en ajoutant un préfixe, soit 1 ou 2 sur le premier caractère de la séquence de chiffre. Ce chiffre doit indiquer la catégorie d'importance à laquelle appartient la route. À titre d'exemple, il y a deux routes 1 en Mauricie et les deux routes sont de

la même catégorie d'importance. La route de la Rivière-aux-Rats pourrait conserver le même numéro, tandis que la route 1 de la Mastigouche pourrait devenir la route 101.

Pour cette numérotation, une liste des numéros devra être maintenue et mise à jour de façon continue afin d'assurer une intégrité dans la données. De plus, afin de distinguer les routes forestières des routes publiques, il est convenu d'ajouter une lettre devant chaque numéro de route : P = public, F = forestier.

Une numérotation particulière a été retenue pour les routes collectrices. Celles-ci ne sont pas numérotées par le MTQ. Ainsi, dans le cadre du projet, une route collectrice qui se connecte à une route express (ex : 349) a été numérotée en ajoutant le lettre C au numéro de la route express. Ensuite, un numéro séquentiel permet de distinguer les différentes routes collectrices qui se connectent à une route express (ex : 349C1).

Segment 2 : Chemins d'opération

Les chemins d'opération se greffent systématiquement aux routes de catégorie primaire et secondaire, ou au réseau de chemins publics.

Ces chemins portent un numéro correspondant au kilométrage auquel débute le chemin sur la route principale. Pour s'assurer d'éliminer les doublons, le numéro doit inclure en préfixe le numéro du chemin de catégorie primaire ou secondaire auquel il appartient. Donc, le chemin d'opération situé au huitième kilomètre de la route 211, débutera sa numérotation comme suit :

Exemple : 211-008

Étant donné qu'il est possible que plusieurs chemins soient situés dans la même portion de kilométrage, le point cardinal de la direction du chemin doit être indiqué. À titre d'exemple, si une fourche se situe au huitième kilomètre de la route 211 et que cette fourche se dirige vers l'ouest, alors le numéro du segment serait :

Exemple : 211-008W.

La numérotation de ces chemins utilise neuf caractères.

Segment 3 : Fourche de chemins d'opération

Les fourches sont considérées comme étant des chemins qui se greffent au deuxième niveau de segmentation. Ces fourches peuvent encore se diviser. Toutefois, le kilométrage ne sera pas utilisé pour numéroter ces fourches, mais plutôt un système de numérotation séquentielle. Ces routes sont exclusivement des chemins d'opération de courte utilisation pour les entreprises forestières. Il est suggéré de numéroter les fourches sur ce segment de A à Z. Sur les segments supplémentaires situés dans une fourche ayant été assignée à une lettre, les segments seront numérotés par un nombre de façon séquentielle.

Note : Il est difficile d'utiliser le kilométrage à ce niveau, car les fourches sont généralement distantes de quelques centaines de mètres. Une numérotation séquentielle permet de bien localiser les chemins sur le terrain et de s'assurer que chaque fourche est unique.

Les figures suivantes présentent des exemples de numérotation.

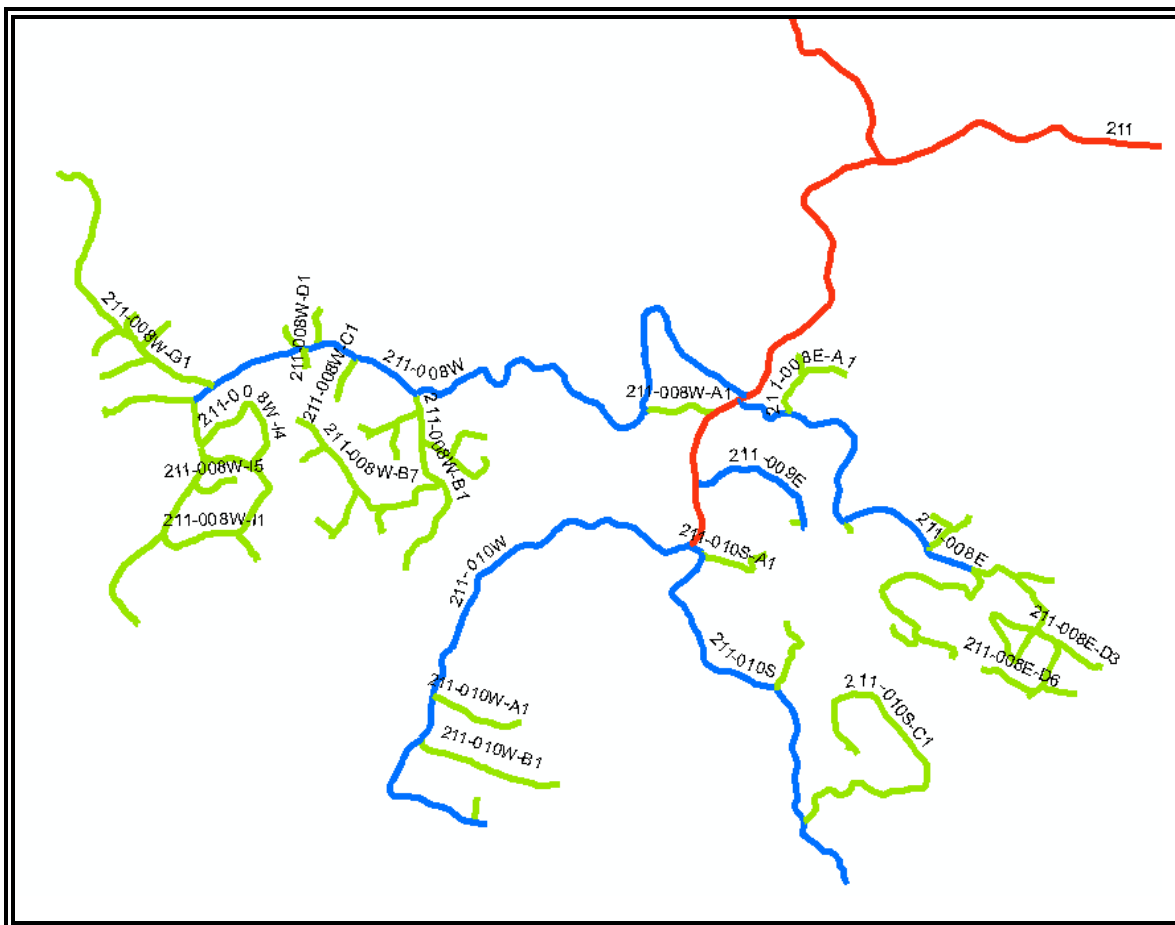


Figure 18. Exemple de numérotation des chemins

La première fourche du segment 211-008W porte le numéro 211-008W-A1. La deuxième porte le numéro 211-008W-B1. Si une fourche se segmente plusieurs fois, alors la numérotation sera séquentielle à partir du premier nombre utilisé pour identifier la fourche.

Exemple : La fourche 211-008W-B1 se segmente un très grand nombre de fois. Il est donc proposé de numérotter les fourches suivantes à partir du début de la première fourche (la jonction entre la fourche et le chemin d'opération) de façon séquentielle : 211-008W-B2, 211-008W-B3, 211-008W-B4, ..., 211-008W-B11.

La figure 19 présente un exemple de numérotation des chemins à plus grande échelle.

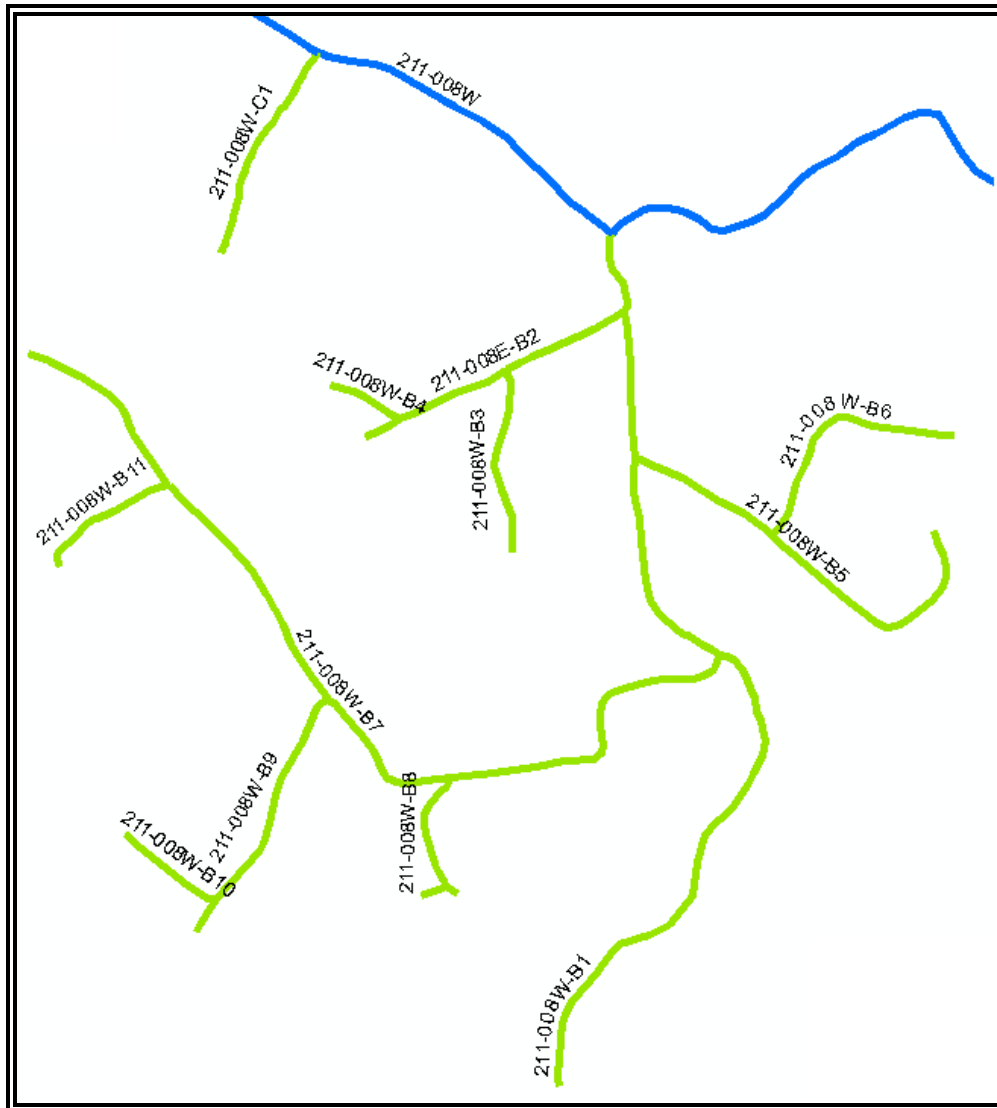


Figure 19. Exemple de numérotation des chemins à plus grande échelle

ANNEXE 3. MÉTHODE DE CALIBRATION DES CHEMINS

Dans le cadre de ce projet de structuration des chemins principaux de la Mauricie en référence linéaire, le calibrage du système de référence linéaire pose un défi important. Le processus de calibrage est assez trivial dans le cas des routes simples mais les outils disponibles dans ArcMap 9.3 ne suffisent pas à eux seuls à calibrer efficacement les routes complexes. Voici un exemple de route complexe (138 près de l'usine de Kruger inc. à Trois-Rivières).

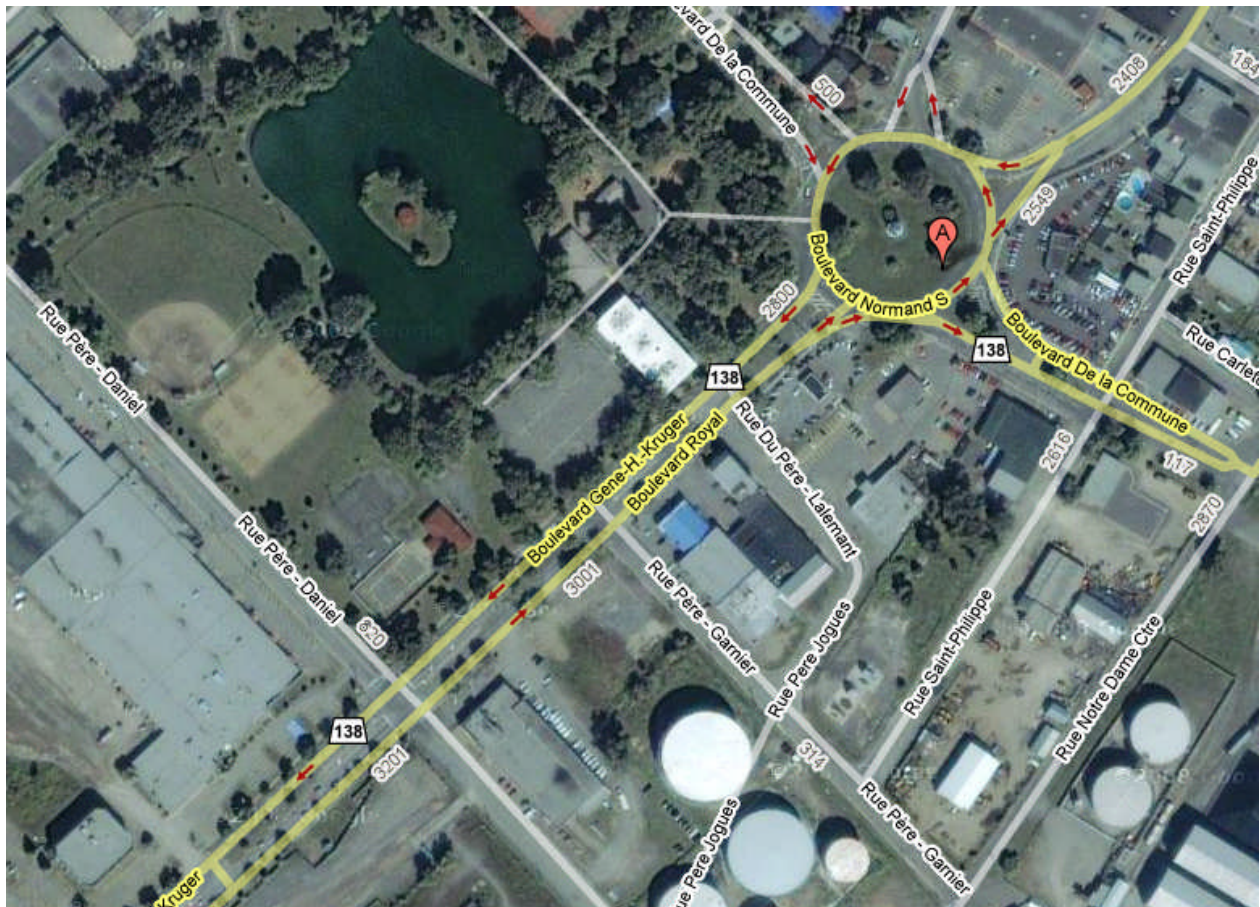


Figure 20. Exemple d'une route complexe à calibrer

Cette annexe propose des méthodes simples de calibrage des routes complexes en utilisant les outils disponibles dans ArcMap. Les outils pour gérer la référence linéaire dans ArcMap sont disponibles peu importe la licence utilisée (ArcView, ArcEditor ou ArcInfo).

1. Ajustement de la géométrie de la route

Tout d'abord, il faut ajuster la géométrie de la route. Il faut réunir en un seul segment (enregistrement) une partie de la route pour former une route principale continue. Pour ce faire, il faut numéroter, d'un numéro commun, toutes les sections à réunir. Par exemple, il s'agit de prendre les sections de route simple et de les réunir avec la voie de droite des sections de route complexe. La figure 21 démontre le résultat (appelé route principale dans les paragraphes qui suivent) à obtenir. Ce segment portera le numéro 138-S1 pour section 1 de la route 138.

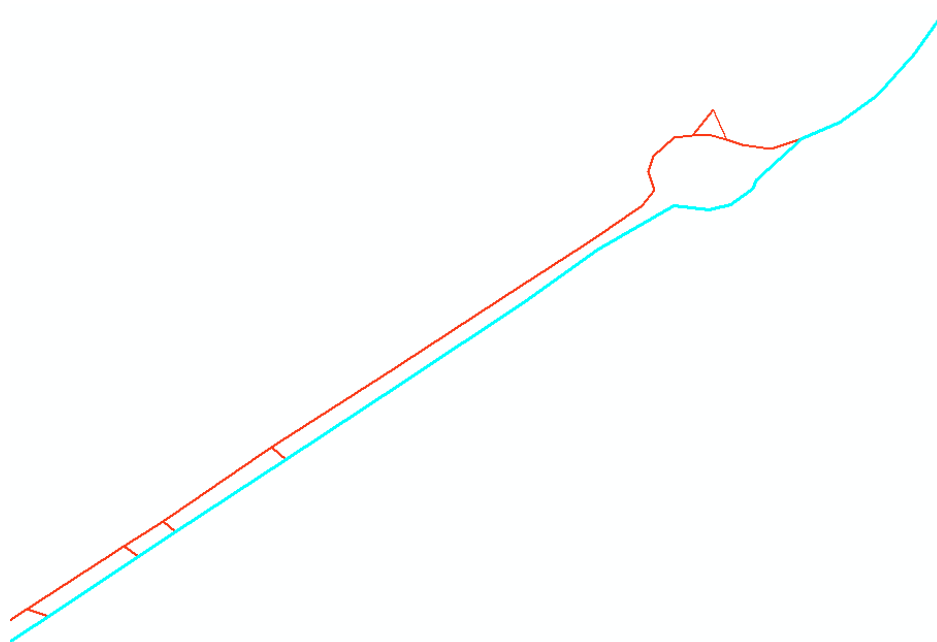


Figure 21. Segments de route simple fusionnés avec la voie de droite des segments de route complexe

Le même type de numérotation doit être fait pour associer les segments de la voie de gauche des routes complexes. Par la suite, l'outil DISSOLVE de ArcMap permet de fusionner tous les segments portant le même numéro.

2. Création d'une couche de points pour le calibrage de la route principale

Pour calibrer la route principale, une couche de points doit être créée (CREATE FEATURE CLASS – Geometry type : point) avec un attribut de type numérique qui s'appellera « Mesure ». Dans cette couche de points, il faut numériser le point de départ et le point d'arrivée de la route principale. Pour le point de départ, il faut inscrire la valeur 0 (ou la valeur minimale de la mesure) pour l'attribut « Mesure ». Dans le cas du point d'arrivée, il faut indiquer la plus grande mesure que la route peut prendre, c'est-à-dire selon l'expression :

Valeur minimale de la mesure + longueur de la route = valeur à ajouter au point d'arrivée pour l'attribut « Mesure ».

La figure 22 montre le résultat à obtenir.

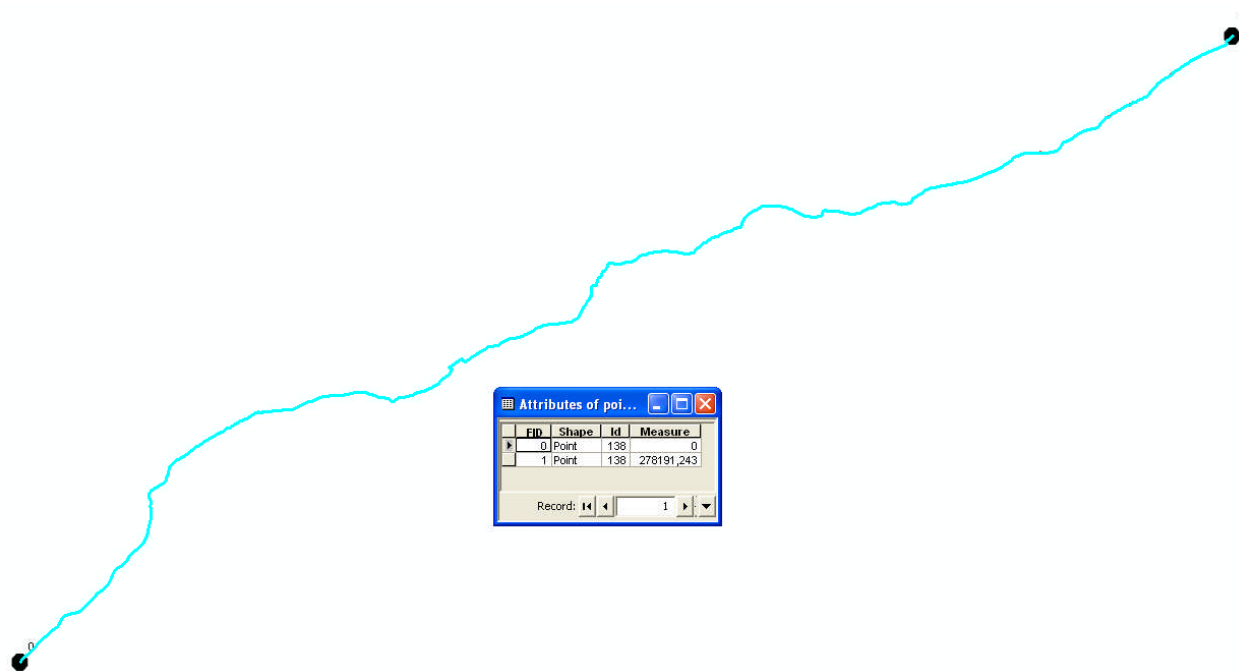


Figure 22. Points de calibration de la route principale

3. Calibrer la route

L'outil CALIBRATE ROUTES permet de calibrer la route principale à l'aide de la couche de points préalablement créée.

4. Renommer les segments

Il faut par la suite renommer les segments qui forment une route avec un nouvel identifiant unique. La figure 23 montre un exemple de numérotation (astuce : il suffit de concaténer l'identifiant unique FID avec le NUMERO de la route.

FID	Shape ^	Numero_RL	HUM2
274	Polyline M	138-S1	274138-S1
275	Polyline M	138-S10	275138-S10
276	Polyline M	138-S11	276138-S11
277	Polyline M	138-S12	277138-S12
278	Polyline M	138-S13	278138-S13
279	Polyline M	138-S14	279138-S14
280	Polyline M	138-S15	280138-S15
281	Polyline M	138-S16	281138-S16
282	Polyline M	138-S17	282138-S17
283	Polyline M	138-S18	283138-S18
284	Polyline M	138-S19	284138-S19
285	Polyline M	138-S20	285138-S20
286	Polyline M	138-S3	286138-S3
287	Polyline M	138-S4	287138-S4
288	Polyline M	138-S5	288138-S5
289	Polyline M	138-S6	289138-S6
290	Polyline M	138-S7	290138-S7
291	Polyline M	138-S9	291138-S9

Figure 23. Exemple de numérotation des segments d'une route

5. Créer une couche de points intermédiaire

Le calibrage des segments des voies de gauche des routes complexes doit être fait à partir d'une couche de points qui se situe aux intersections de ces segments et de la route principale.

Pour créer la couche de points, il faut utiliser l'outil INTERSECT et faire l'intersection de la couche calibrée à l'étape 3 avec elle-même (astuce : ajouter la couche résultante de l'étape 3 deux fois dans la table des matières d'ArcMap et renommer une de celles-ci). Il faut s'assurer que la couche résultante soit de type points (Output type : Point).

La couche résultante est une couche « Multipoints ». Il faut donc utiliser l'outil MULTIPART TO SINGLEPART pour convertir la couche multipoints en une couche monopoints.

Suite à l'intersection avec elle-même de la couche calibrée, un nouveau champ d'identification a été ajouté. Il s'agit d'une duplication de l'identifiant ajouté à l'étape 4.

Plusieurs points se superposent aux différentes intersections. Il faut conserver à cette étape-ci seulement les points qui portent à la fois l'identifiant de la route principale dans la colonne de l'identifiant (étape 4) et une valeur différente de l'identifiant de la route principale dans la colonne dupliquée. La figure 24 illustre ce point.

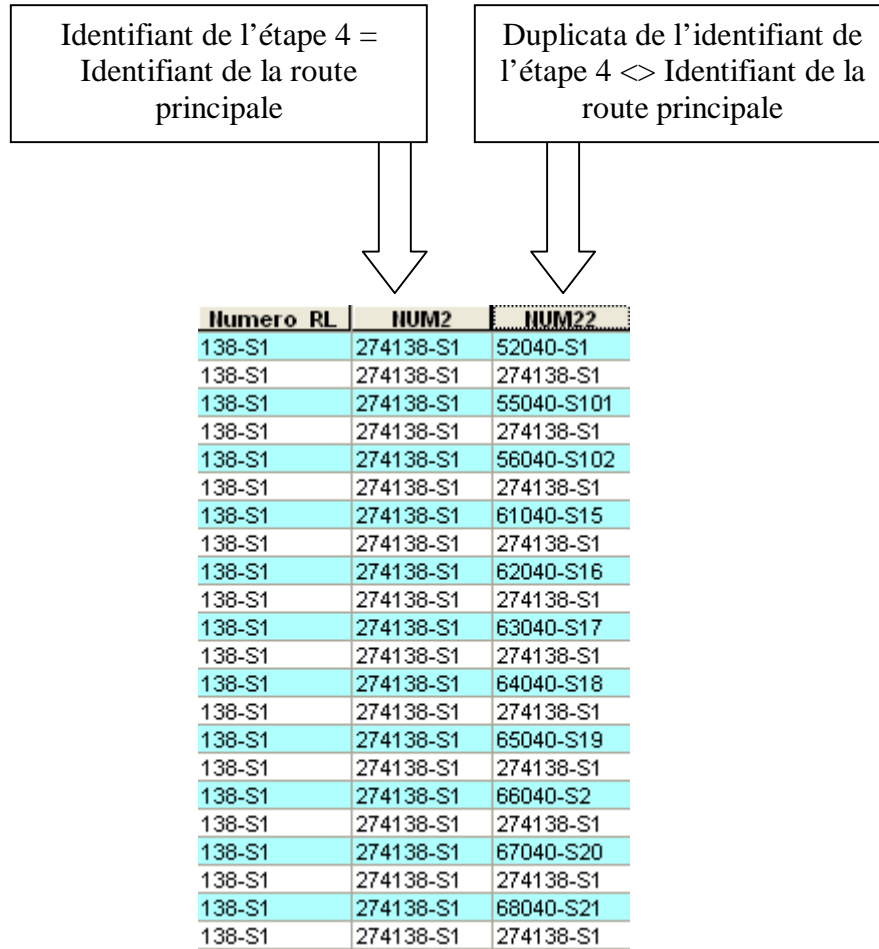


Figure 24. Segment de route à conserver (enregistrements surlignés)

De légers ajustements à cette couche devront être faits pour supprimer des points inutiles générés aux intersections de viaducs.

6. Assigner les mesures de la route principale aux points intermédiaires

L'outil LOCATE POINT FEATURES ALONG ROUTES que l'on retrouve dans le *Route Events GeoProcessing Wizard* (barre d'outils ROUTE EDITING) permet d'assigner les mesures de la route principale aux points intermédiaires. La figure 25 montre les interfaces à compléter lors de l'utilisation de cet outil.

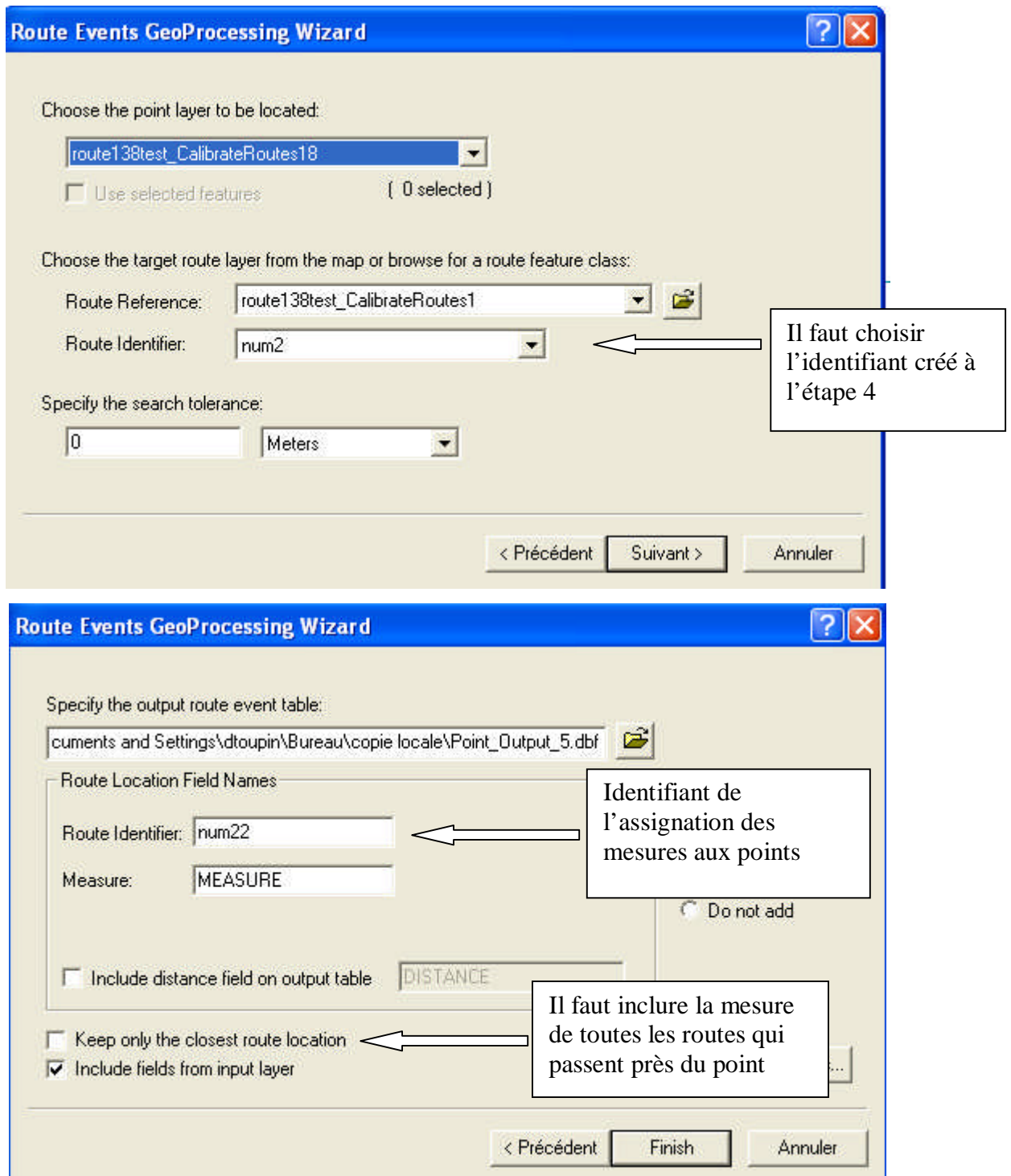


Figure 25. Interfaces à compléter lors de l'utilisation de l'outil *Locate Point Features Along Routes*

Le résultat de cette étape est une couche « évènement ». Cette couche est seulement disponible dans le projet en cours et n'est pas enregistrée sur le disque. Il faut donc exporter cette couche pour la copier sur le disque.

Dans cette couche, il faut conserver seulement les points qui sont en lien avec la route principale (identifiant de l'assignation des mesures aux points = numéro de la route principale).

7. Calibrer la route

Les points générés à l'étape 6 peuvent être juxtaposés aux points qui ont servis à calibrer la route principale. L'outil CALIBRATE ROUTES permet maintenant de calibrer tous les segments des voies de gauche et principales à l'aide de la couche de points créée à l'étape 5.

ANNEXE 4. UTILISATION DES MODÈLES CRÉÉS AVEC LE MODEL BUILDER

Pour utiliser les modèles développés dans ce projet, il faut au préalable ajouter, dans *ArcToolBox*, la boîte à outils *Modèles Réseau routier Mauricie*. Pour ce faire, il faut réaliser les manipulations suivantes :

- 1 - Clic du bouton droit de la souris dans *ArcToolBox* → *Add Toolbox*
- 2 - Choisir la boîte à outils *Modèle réseau routier Mauricie*

La boîte à outils contenant les modèles sera maintenant accessible.

Le modèle *02 – Ajouter champs numéro chemin* ajoute deux champs (*No_Chemin* et *No_Chemin_RL*) dans la couche de chemins à ajouter. Il faut indiquer dans l'interface du modèle la couche qui contient les chemins à ajouter et appuyer sur OK.

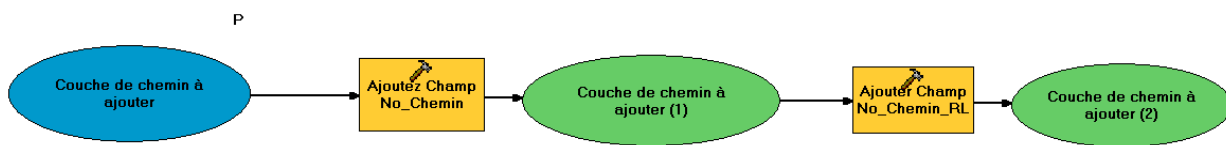


Figure 26. Modèle 02 – Ajouter champs numéro chemin

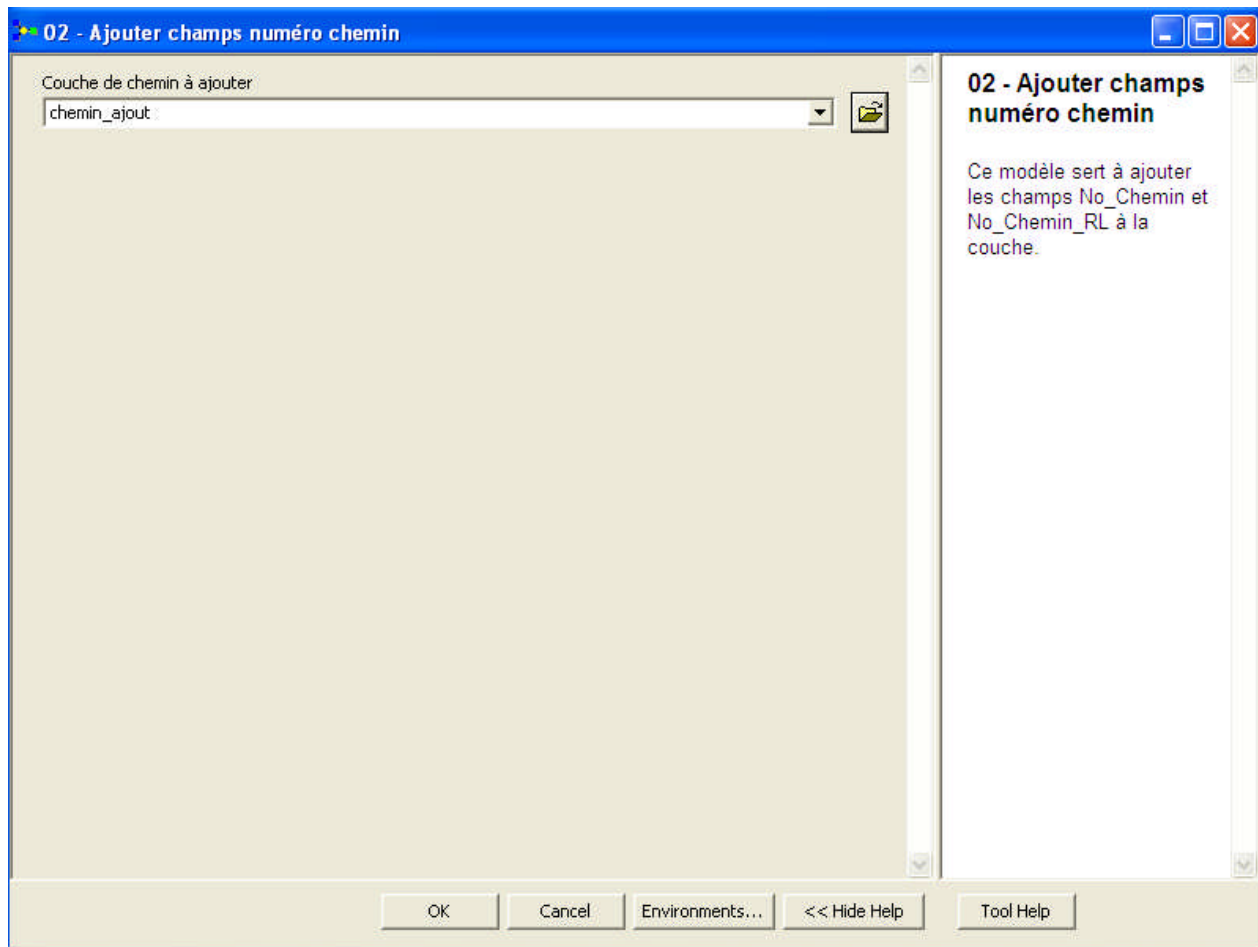


Figure 27. Interface à compléter lors de l'utilisation du modèle *02 – Ajouter champs numéro chemin*

Le modèle *03 – Fusionner les nouveaux chemins avec la couche ce_route* permet de copier les chemins à ajouter dans la couche *ce_route* de la base de données. De plus, suite à cette fusion, la topologie *JCE_Topologie* est mise à jour pour afficher les erreurs de connexion entre les nouvelles données et les anciennes. Dans l'interface du modèle, il faut indiquer la couche de chemins à ajouter ainsi que la couche *ce_route* qui provient de la base de données.

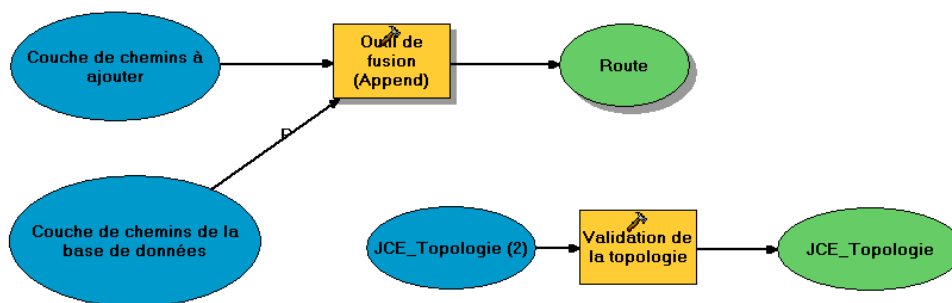


Figure 28. Modèle *03 – Fusionner les nouveaux chemins avec la couche ce_route*

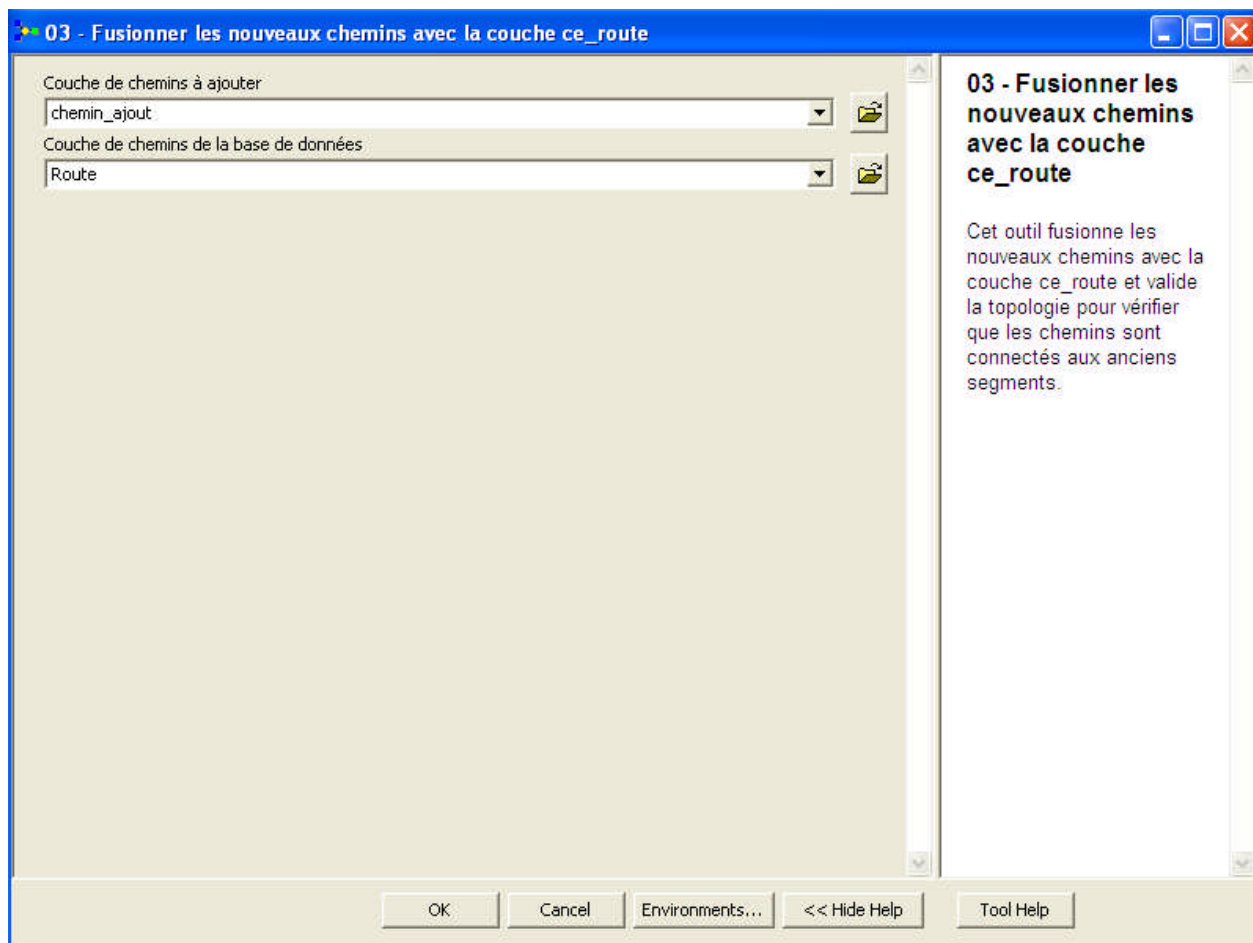


Figure 29. Interface à compléter lors de l'utilisation du modèle
03 – Fusionner les nouveaux chemins avec la couche ce_route

Le modèle 05 – *Créer les points de calibration* permet de créer deux fichiers de formes *Point_Debut.shp* et *Point_Fin.Shp* qui contiennent les points de calibration aux intersections de chemins et au dernier sommet des lignes. Un fichier de formes temporaire est d'abord créé (*ce_route_tempo.shp*). Une sélection topologique permet ensuite de retenir seulement les nouveaux chemins pour la suite du traitement. Une série de champs sont ajoutés puis les valeurs de ceux-ci sont calculées. Ils permettent de calculer les coordonnées XY des points de début et de fin de chacun des chemins ajoutés. Les deux couches de points sont ensuite créées. Dans l'interface du modèle, il faut indiquer la couche de chemins à ajouter ainsi que la couche *ce_route* qui provient de la base de données.

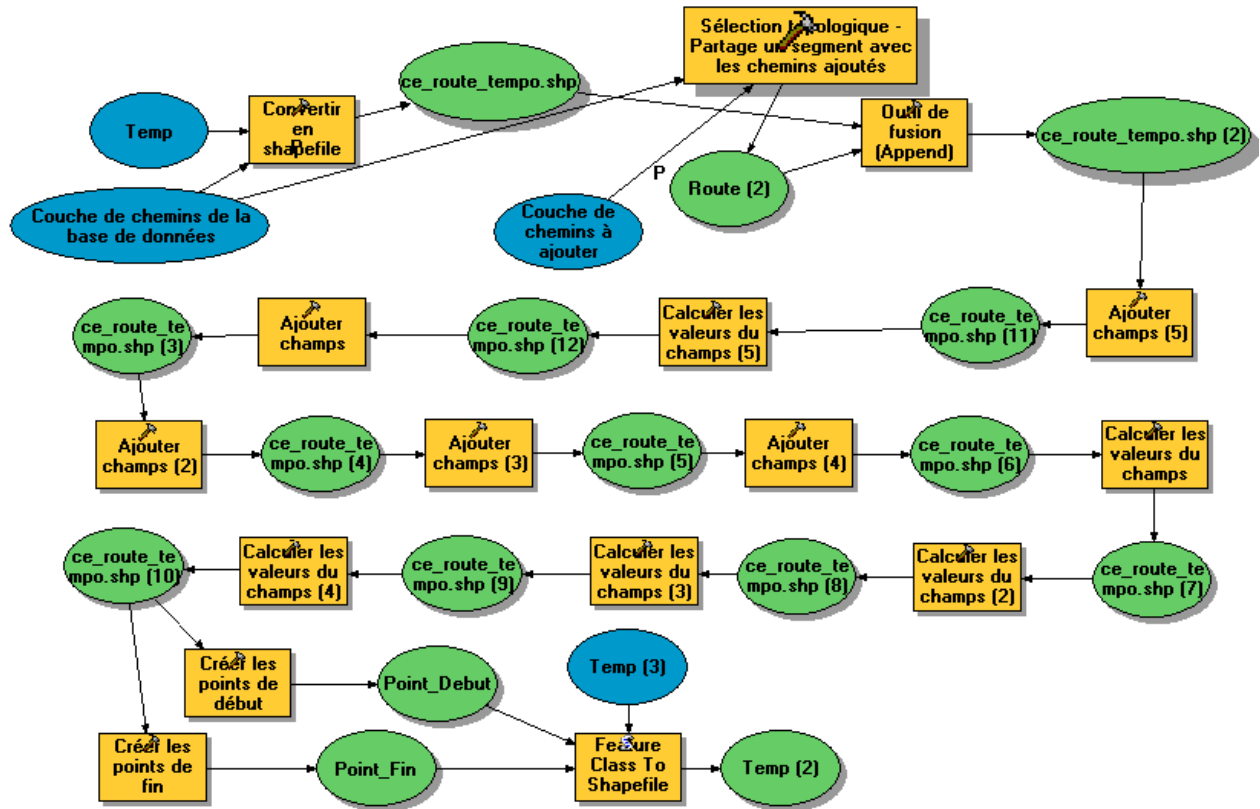


Figure 30. Modèle 05 – Créer les points de calibration

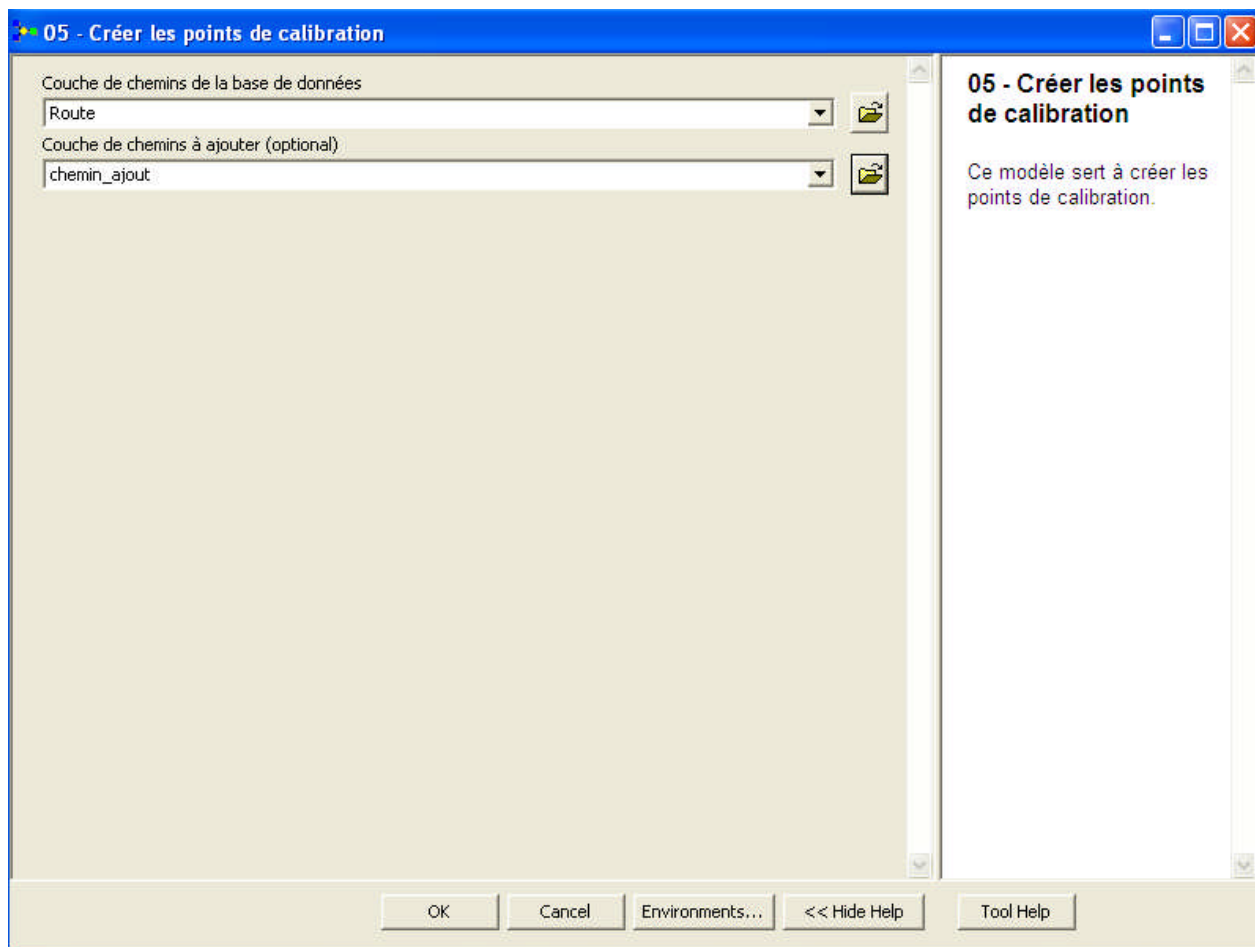


Figure 31. Interface à compléter lors de l'utilisation du modèle 05 – *Créer les points de calibration*

Le modèle 06 – Fusionner les points avec la couche des points de calibration permet de calculer la valeur en kilomètres des points de calibration. Deux champs sont ajoutés puis les valeurs de ceux-ci sont calculées. Ils permettent de calculer les valeurs en kilomètres et d’identifier le type de borne (cartographique). Les points contenus dans les deux fichiers de formes sont ensuite fusionnés avec les points de la couche des points de calibration *ce_points_calib*. Ce modèle n’a pas de paramètre et peut être exécuté directement en cliquant sur OK.

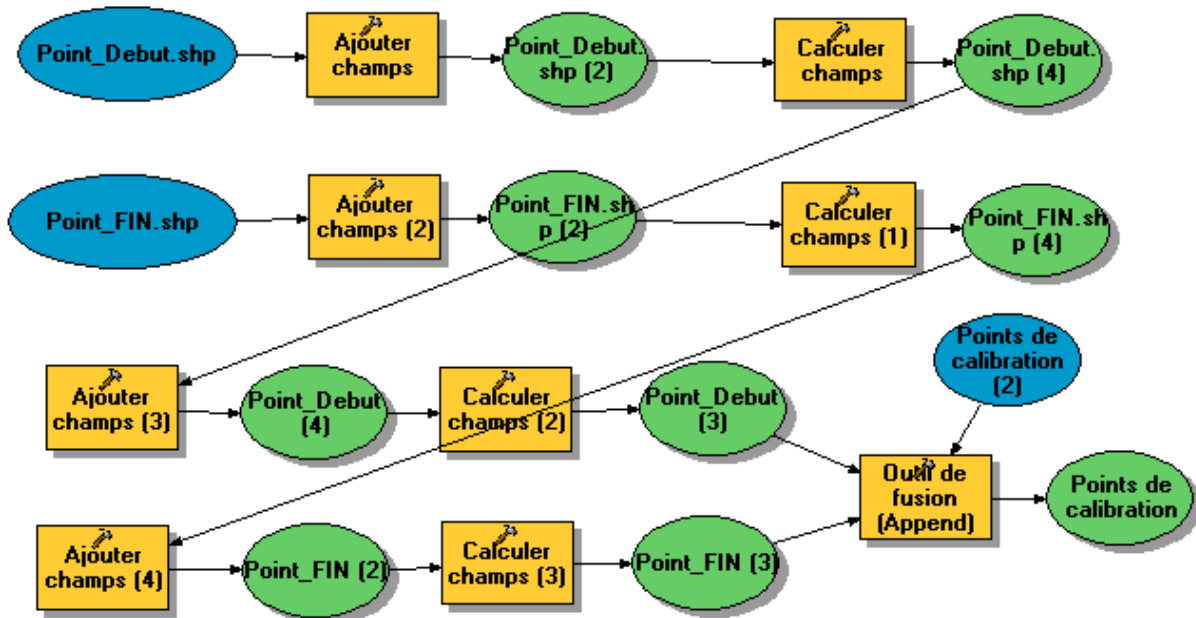
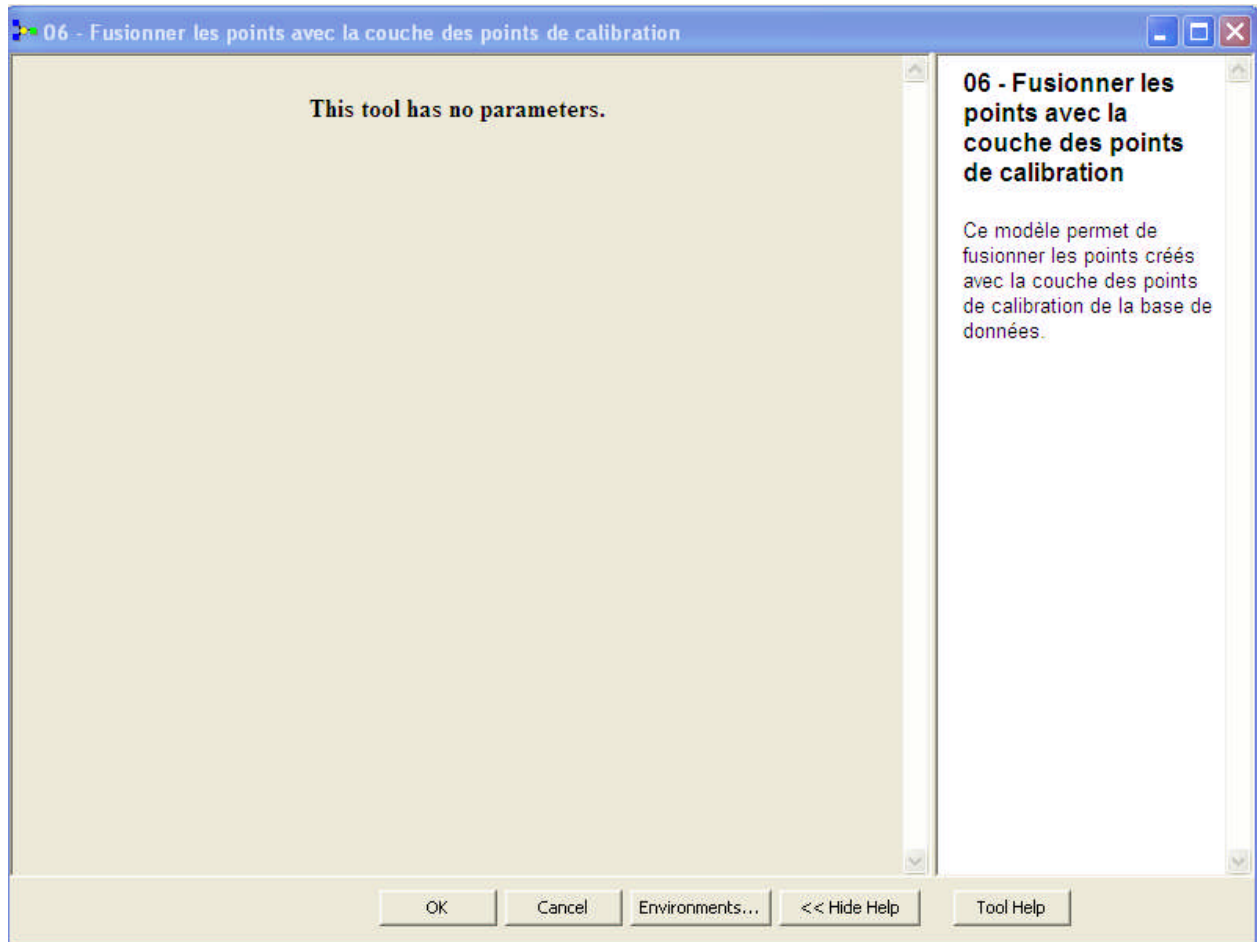


Figure 32. Modèle 06 – Fusionner les points avec la couche des points de calibration



**Figure 33. Interface à compléter lors de l'utilisation du modèle
06 – Fusionner les points avec la couche des points de calibration**

Le modèle 07 – *Calibrer les nouvelles routes* permet de calibrer les nouvelles routes. À partir du fichier de formes temporaire créé à l'étape 05 et des points de calibration, les nouvelles routes sont calibrées. En parallèle, le modèle sélectionne et supprime les chemins ajoutés à l'étape 3 pour les remplacer par les routes calibrées. Le modèle fait finalement un dernier ajustement sur le numéro de route. Il faut indiquer à ce modèle l'emplacement des couches *ce_route* et *ce_points_calib* dans la base de données et la couche de chemins à ajouter.

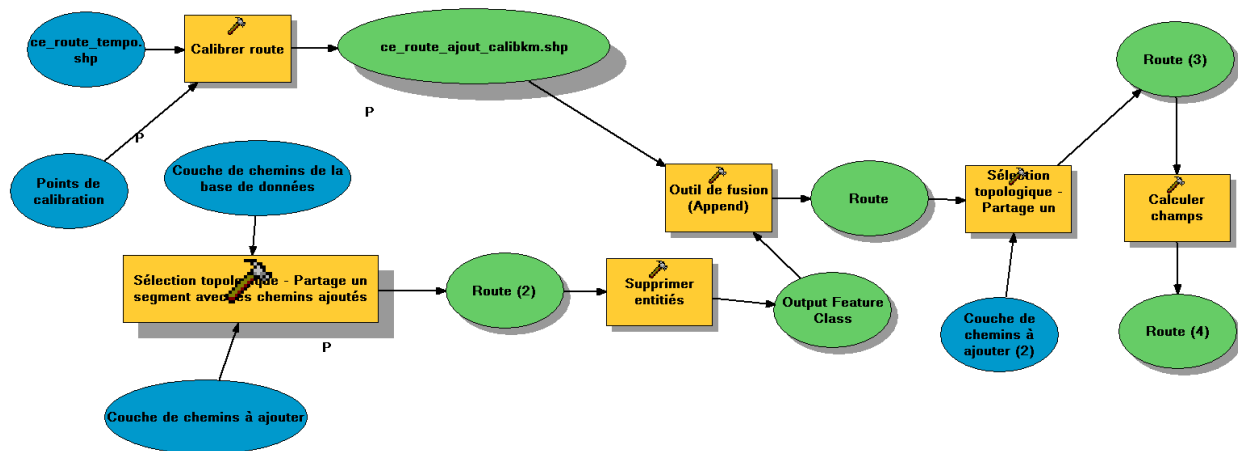


Figure 34. Modèle 07 – *Calibrer les nouvelles routes*

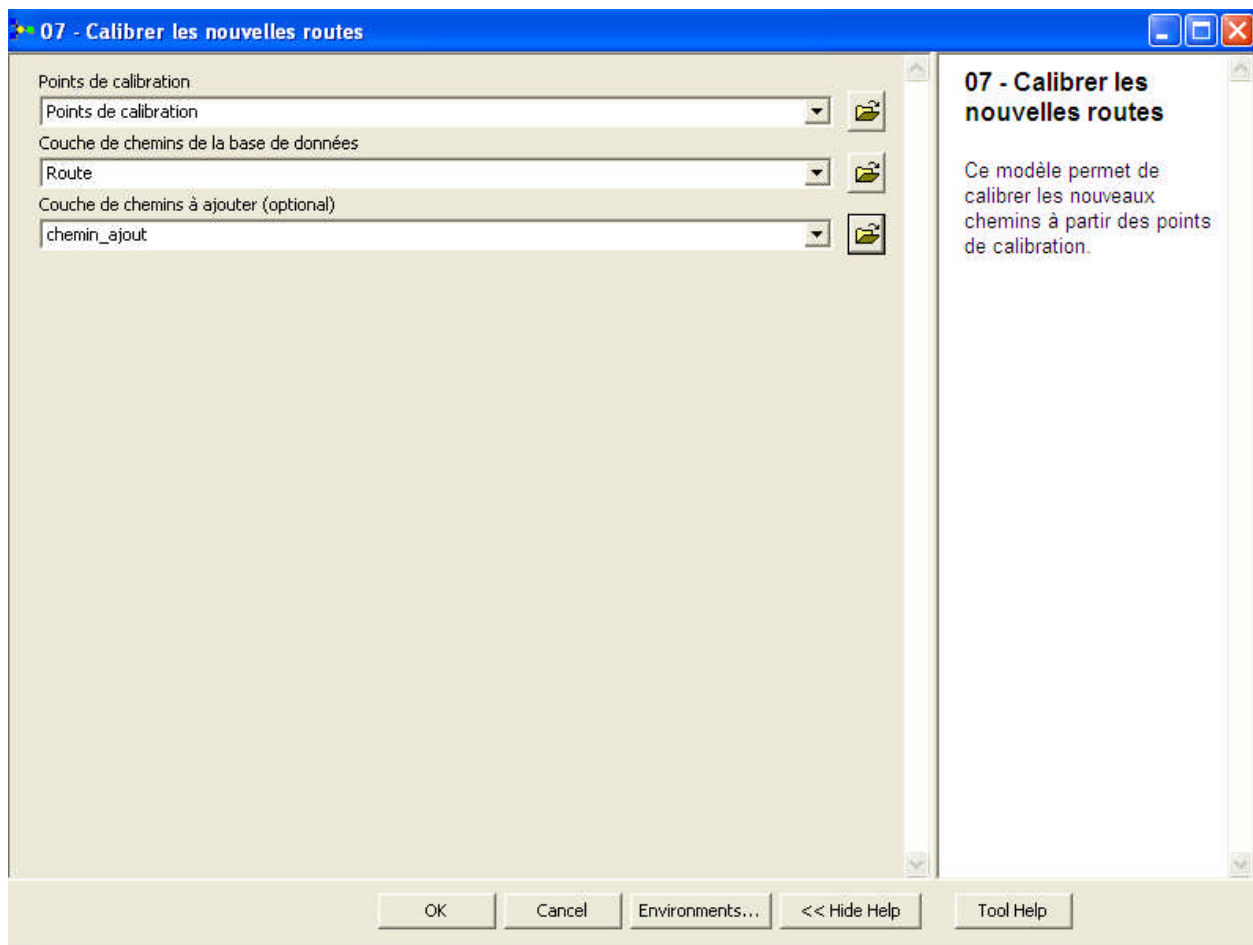


Figure 35. Interface à compléter lors de l'utilisation du modèle 07 – Calibrer les nouvelles routes

Suite à l'exécution des 5 modèles, 4 fichiers de formes (shapefile) se retrouvent dans le dossier c:\Temp de l'ordinateur sur lequel les modèles ont été exécutés. Il faut effacer ces fichiers pour utiliser à nouveau les modèles de mise à jour.

Voici la liste des fichiers de formes créés :

Ce_route_ajout_calibkm.shp
Ce_route_tempo.shp
Point_Debut.shp
Point_Fin.shp

ANNEXE 5. MÉTHODE POUR AJOUTER UNE TABLE À LA BASE DE DONNÉES

ArcMap ne reconnaît pas les alias de tables et d'attributs ni les domaines de valeurs assignés aux attributs dans Access. Il faut donc procéder de cette façon pour créer de nouvelles tables :

Table événement sans domaine de valeur

1. Créer la table dans Access;
2. Créer les alias, les commentaires de tables et les commentaires d'attributs;
3. Dans ArcCatalog, dans le menu contextuel relié à la table, cliquer sur Register with geodatabase;
4. Créer les alias de tables et d'attributs dans ArcCatalog.

Table événement avec domaine de valeur

1. Créer la table de domaine de valeurs dans Access;
2. Créer la table événement dans Access;
3. Créer les alias, les commentaires de table et les commentaires d'attributs;
4. Assigner le domaine de valeurs à la colonne concernée;
5. Dans ArcCatalog, dans le menu contextuel relié à la table, cliquer sur Register with geodatabase;
6. Créer le domaine de valeurs dans ArcCatalog;
7. Créer les alias de table et d'attributs dans ArcCatalog;
8. Assigner le domaine de valeurs à la colonne concernée.