

Rapport scientifique de la cartographie des anciens cours d'eau, lignes de creux et des bassins versants de l'île de Montréal

Tous droits réservés © **Valérie MAHAUT**

Professeure adjointe à l'École d'architecture
Faculté de l'aménagement, Université de Montréal

ANNEXE 2

Guide méthodologique de géoréférencement sur un logiciel de système d'information géographique

présenté par
Lora CASASOLA
Jean-Michel LAFORTUNE

TABLE DES MATIÈRES

Recherche de points de repères.....	3
Méthodologie	4
Géoréférencement.....	6
Méthodologie ArcMap (image Raster)	6
Méthodologie ArcMap (.dwg, dxf ou autre fichier vectoriel)	15

RECHERCHE DE POINTS DE REPÈRE

par Jean-Michel Lafortune et Lora Casasola

Afin de géoréférencer une carte dans un logiciel de SIG, il est important d'établir des points de repère sur celle-ci qui serviront de points d'ancrage au logiciel pour repositionner l'image par rapport à une carte ou des données géoréférencées. On tentera ainsi de faire correspondre le mieux possible la carte historique aux données géomatiques actuelles de Montréal. Ces points de repère sont soit des bâtiments encore existants, des intersections de rues ou des limites d'arrondissements.

Les sites suivants ont été consultés pour trouver et localiser la plupart des bâtiments anciens. Les plans d'urbanisme accessibles en ligne de certains arrondissements ont aussi été consultés pour identifier d'autres bâtiments de valeur patrimoniale exceptionnelle et ainsi étoffer la quantité de points de repère bâtis.

<http://www.imtl.org/montreal/>

<http://patrimoine.ville.montreal.qc.ca/inventaire/arrondissement.php?id=1>

<https://www.flickr.com/photos/guil3433/sets/72157626793678683/>

Une carte récente de la ville de Montréal (Figure 2.1, Titre du fichier : 2009_CMM_index.jpg, dans les Fichiers_de_reference) est utilisée pour localiser et identifier tous les points de repère trouvés. Il s'agit de la carte index de Montréal du service de la géomatique de la ville datant de 2009. Elle a été trouvée via le service de Bibliothèque de l'UdeM :

<http://guides.bib.umontreal.ca/disciplines/147-Donnees-geospaciales?tab=608>

Sélectionner : Cartographie de base numérique de la Ville de Montréal



2.1 – Carte complète

Les points de repère servent à faire le lien entre les cartes anciennes et les cartes de références actuelles de l'île de Montréal. Ces points de repère sont :

Des bâtiments, soit des maisons rurales, des écoles et des édifices religieux pour la plupart, construits avant la date de parution de chaque carte étudiée.

Des limites administratives, lorsqu'elles correspondent toujours à des divisions administratives de l'île aujourd'hui. Il faut faire attention par rapport à la précision de ces limites. Par expérience, nous avons remarqué qu'elles peuvent dans certains cas aider à la justesse du géoréférencement ou ajouter une imprécision selon la carte historique. Par contre, il faut bien examiner le résultat par la suite, car parfois les limites de cartes historiques ne sont pas précises et faussent le géoréférencement.

Des intersections de rues, en leur centre, tel que le croisement de deux anciens chemins ruraux ou encore un chemin rural avec un chemin de fer. Dans ce cas, nous avons émis l'hypothèse que ces intersections n'ont pas été modifiées de façon significative entre la date de la carte historique et la carte index de 2009.

Les berges de l'île et les points d'eau ne sont pas des points repères, car ils se sont modifiés de nombreuses fois et de façon significative depuis le 17^e siècle.

Étant donné l'information très variée sur chacune des cartes trouvées, la quantité de points de repère ainsi que leur précision varient conséquemment.

Nous excluons bien entendu les cours d'eau comme des repères, car cela fausserait les données résultantes.

MÉTHODOLOGIE

par Jean-Michel Lafortune

Retouche d'images

- i. Importer la carte à géoréférencer sur un logiciel de retouche d'images, créer un calque à partir de la carte. Importer ensuite la carte index 2009 dans un autre calque. Enregistrer le fichier au nom de la carte en ajoutant `_REPERES`
- ii. Les cartes anciennes sont ensuite découpées au besoin, superposées rapidement à la carte récente sans être déformées, et ensuite mises en transparence (Image 2.2).



2.2 – Carte Hopkins illustrant l'ouest de la ville, découpée

- iii. Les points de repère bâtis, marqués à l'aide de cercles jaunes ou violets, sont ensuite ajoutés aux cartes anciennes superposées. Les cercles jaunes indiquent avec certitude l'emplacement du point sur la carte à géoréférencer (Image 2.4a et 2.4b), tandis que les violets indiquent un ensemble de 2 ou 3 bâtiments ou intersection sur la carte ancienne pour lesquels la correspondance avec l'emplacement actuel est moins certaine (Image 2.5). Dans le logiciel utilisé, chaque cercle créé se place automatiquement sur un nouveau calque. Il faut nommer ce calque avec les informations du point repère. Par exemple avec l'adresse du bâtiment ou le nom des deux rues qui s'entrecroisent.

Mise à jour 2016 — par Lora Casasola

Cette méthodologie d'ajouter des points a été abandonnée, car avec de la pratique, nous en sommes arrivés à être efficaces directement sur le logiciel de SIG pour repérer les points repères sur les cartes historiques et les tuiles actuelles de la Ville. De plus, la technique des cercles rendait les cartes historiques géoréférencées moins lisibles. On peut voir quelles cartes ont été traitées avec cette technique dans le tableau :

Annexe03_TableauDesGeoreferencements.xlsx



2.4a et 2.4b – Maison Lanthier, située au 11 chemin Lanthier, construite en 1785

2.5 – Intersection des actuelles Autoroute 40 et voie ferrée du Canadien Pacifique

- iv. Éteindre le calque de la carte de référence actuelle et exporter les cartes anciennes avec points de repère en format .png, prêtes à être géoréférencées. Exemple : 1825_Adams_REPERES.png

Logiciel de dessin

- v. Faire une copie des tuiles actuelles de la ville de Montréal (situées ici : 1_Base_de_Donnees_Brutes/1_3_Donnees_Actuelles/Donnees_geomatiques/geos_7_123083497) dans un dossier à créer et nommer « Tuiles_de_reference ». Ouvrir les tuiles sur le logiciel et les nettoyer en effaçant les objets inutiles comme les bouches d'égout, les arbres, les poteaux, etc. dans le but d'alléger le fichier des éléments inutiles dans notre cas. Mettre en évidence les noms des rues et repérer les emplacements correspondant aux points de repère de l'image retouchée en mettant les polygones correspondantes en rouge. Faire un Purge. De cette façon, les tuiles s'afficheront plus rapidement et le point repère sera plus visible et l'information que le logiciel aura à gérer sera moins lourde.

GÉORÉFÉRENCEMENT

par Jean-Michel Lafortune, révision juillet 2016 par Lora Casasola

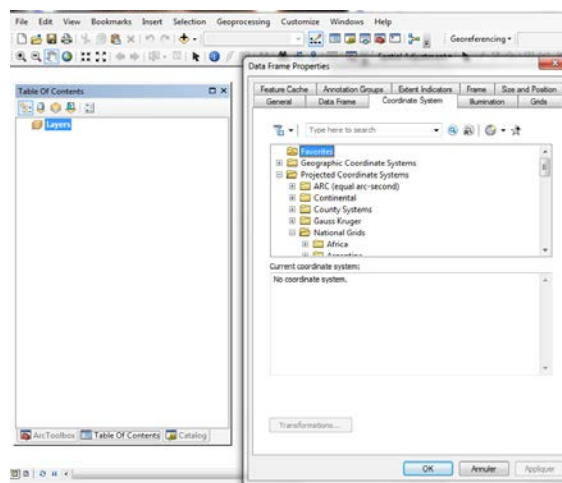
Le géoréférencement a pour objectif de faire correspondre une image raster (donc des données matricielles et non vectorielles), à une carte de référence positionnée géographiquement à l'aide d'un système de coordonnées prédéterminé. Une fois la correspondance de l'image et de la carte obtenue, l'image peut être enregistrée en conservant son nouveau positionnement spatial. Elle est alors géoréférencée.

L'intérêt de cette méthode pour ce travail de recherche est que la superposition des cartes anciennes au territoire de l'île de Montréal actuel nous permet de retracer avec plus de précision l'emplacement des cours d'eau qui, jadis, marquaient le paysage rural de l'île.

MÉTHODOLOGIE SIG (IMAGE RASTER)

- i. Avant de commencer le géoréférencement, il faut donner au fichier de travail un système de projection unique selon lequel seront projetées les cartes. Pour ce faire : faire un clic droit sur « *Layers* » dans la fenêtre *Table of Contents* à gauche, puis choisir *Propriétés*, ensuite l'onglet *Coordinate Systems*, puis *Projected Coordinate Systems*, *National Grids*, *Canada*, ***NAD 1983 CSRS MTM 8***, puis *Appliquer* (Image 3.1). Ce système de coordonnées est celui utilisé pour travailler à l'échelle de l'île de Montréal. Pour plus d'information, consulter le lien ci-dessous (*comprendre et effectuer des projections*, par Martine Lapointe, Université Laval), plus précisément à la p.15.

<http://www.cef-cfr.ca/uploads/Reference/ProjectionCartoNum.pdf>



3.1 – Sélection du Système de Coordonnées géographiques.

- ii. Ensuite, il faut importer des cartes géoréférencées présentant l'aspect actuel de l'île, qui serviront de référence pour géoréférencer les cartes. Pour les besoins de ce travail de recherche, les fichiers suivants ont été utilisés à titre de référence (Images 3.2 à 3.5) :

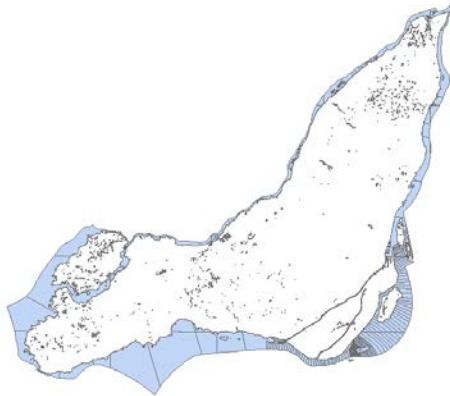
Hydro : Carte illustrant l'hydrographie actuelle de l'île de Montréal ;
source : <http://donnees.ville.montreal.qc.ca/dataset/hydrographie>

Tuiles de référence : les tuiles 2009 qui ont été placées dans un dossier « Tuiles_de_reference » ; Créer un groupe avec ces tuiles et ajuster la transparence du groupe à environ 50 % (Propriétés/Display).

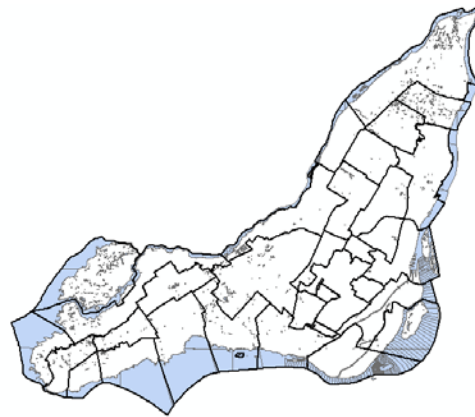
Quadsqrc : Quadrillage de référence pour situer ces tuiles ;
source : <http://donnees.ville.montreal.qc.ca/dataset/quadrillage-sqrc>

Limadmin : Limites administratives qui séparent les villes « défusionnées » et les arrondissements de la Ville de Montréal les uns des autres sur l'ensemble de l'île de Montréal.

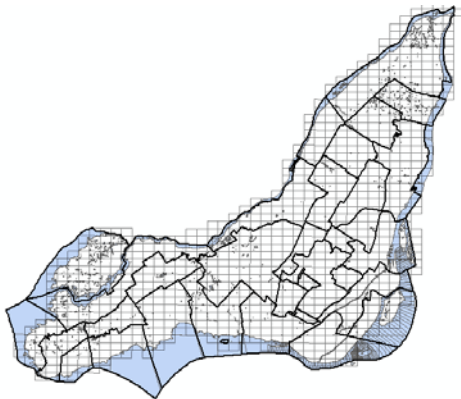
source : <http://donnees.ville.montreal.qc.ca/dataset/polygones-arrondissements>



3.2 – Hydrographie actuelle de l'île de Montréal (Hydro)



3.3 – Limites administratives (Limadmin).

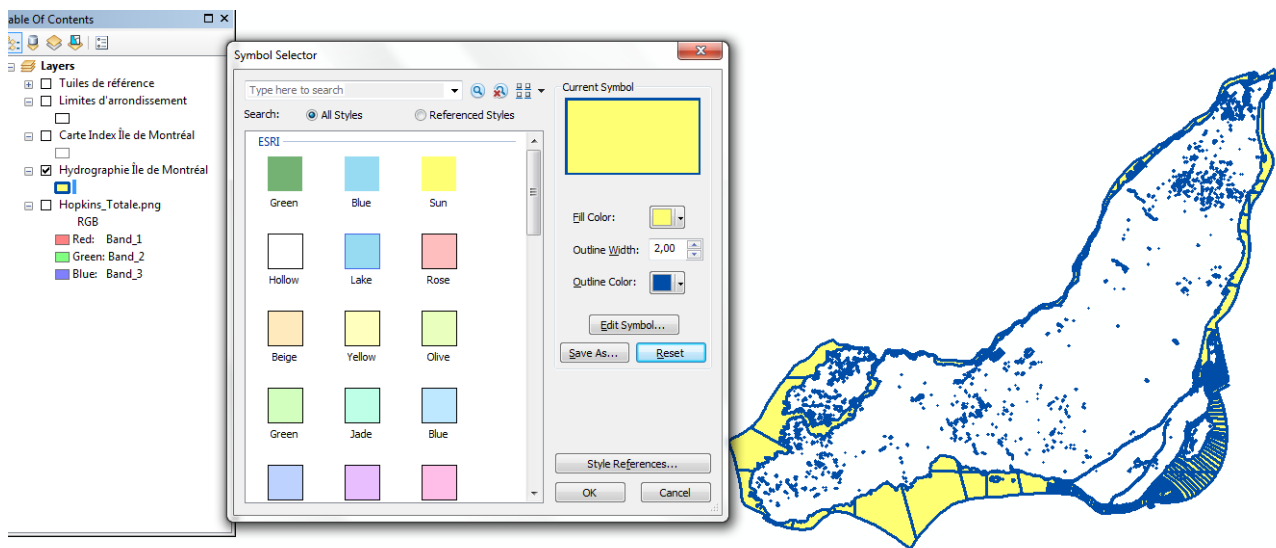


3.4 – Quadrillage de référence (Quadsqrc)



3.5 – Exemples de tuiles agrandies importées en format .dwg incluant certains points de repère identifiés en traits rouges gras.

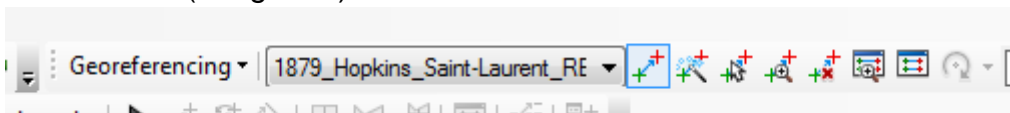
Pour insérer ces références au fichier shapefile, il faut cliquer sur *Add Data* en haut au centre de l'écran (Image 3.6). Ces références sont composées de données vectorielles et peuvent donc être modifiées au besoin (changer l'épaisseur des traits, la couleur, la transparence, etc.) (Image 3.7).

3.6 – Bouton *Add Data*

3.7 – Modification des propriétés graphiques

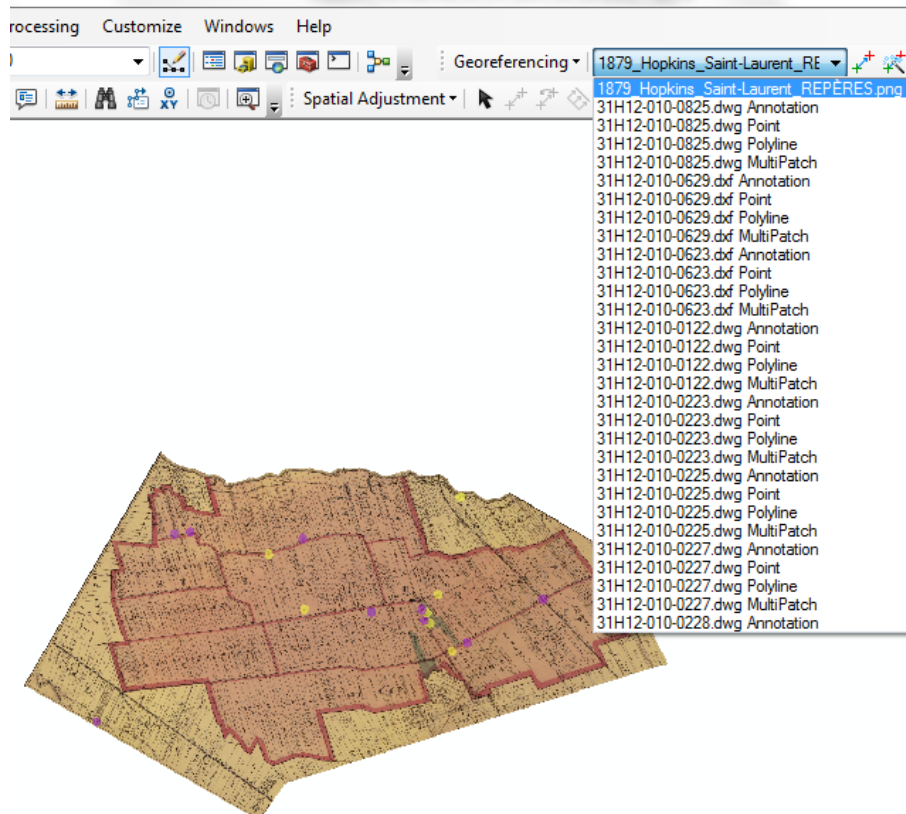
On peut aussi laisser ouvert l'onglet à droite « Catalog » qui donne accès aux dossiers de l'ordinateur et permet de glisser les fichiers à ajouter au plan de travail mxd.

- iii. Ensuite, il faut importer les images à géoréférencer retravaillées précédemment sur Photoshop. La fonction *Add data* est encore utilisée pour importer ces images (Attention : les fichiers .pdf ne peuvent pas être importés de cette façon et ne peuvent donc pas être géoréférencés ; il faut les transformer préalablement en images raster, préférablement en format .png). Il faut ensuite ouvrir la barre d'outils *Georeferencing* en faisant un clic droit sur l'interface en haut à droite (Image 3.8).

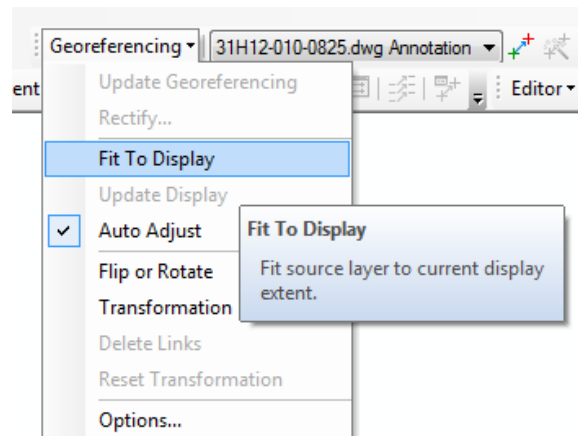


3.8 – Barre d'outils de géoréférencement

*TRÈS IMPORTANT : pour les étapes qui suivent, il faut sélectionner dans le 2^e menu déroulant le nom de l'image importée (Image 3.9). L'image raster n'a pas de système de coordonnées, donc lorsqu'elle est ajoutée, elle se place à (0,0). Pour faire apparaître l'image au milieu de l'écran, sélectionner *Fit to Display* dans le premier menu déroulant de la barre d'outils (Image 3.10). L'image s'ajuste ainsi à la taille de l'écran. À l'inverse, l'outil « zoom to layer » nous permet de visualiser la carte où elle placée automatiquement par défaut

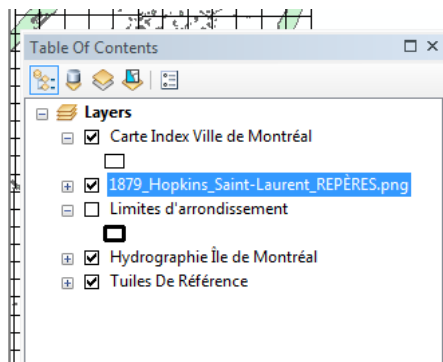


3.9 – Sélectionner le nom de l'image dans le menu déroulant

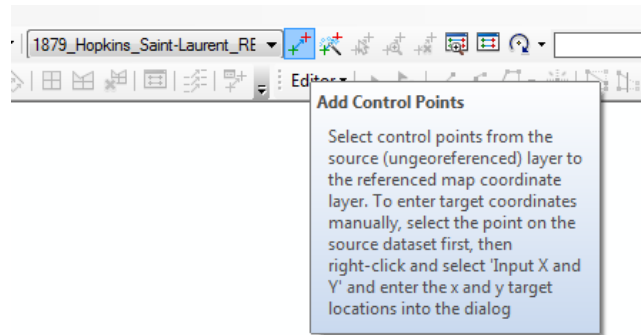
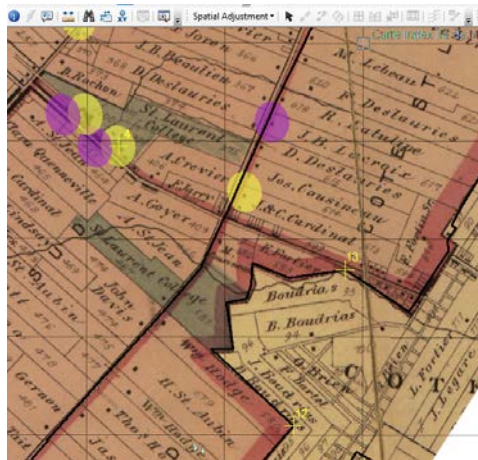


3.10 – Faire apparaître l'image à la taille de l'écran avec la commande *Fit to Display*

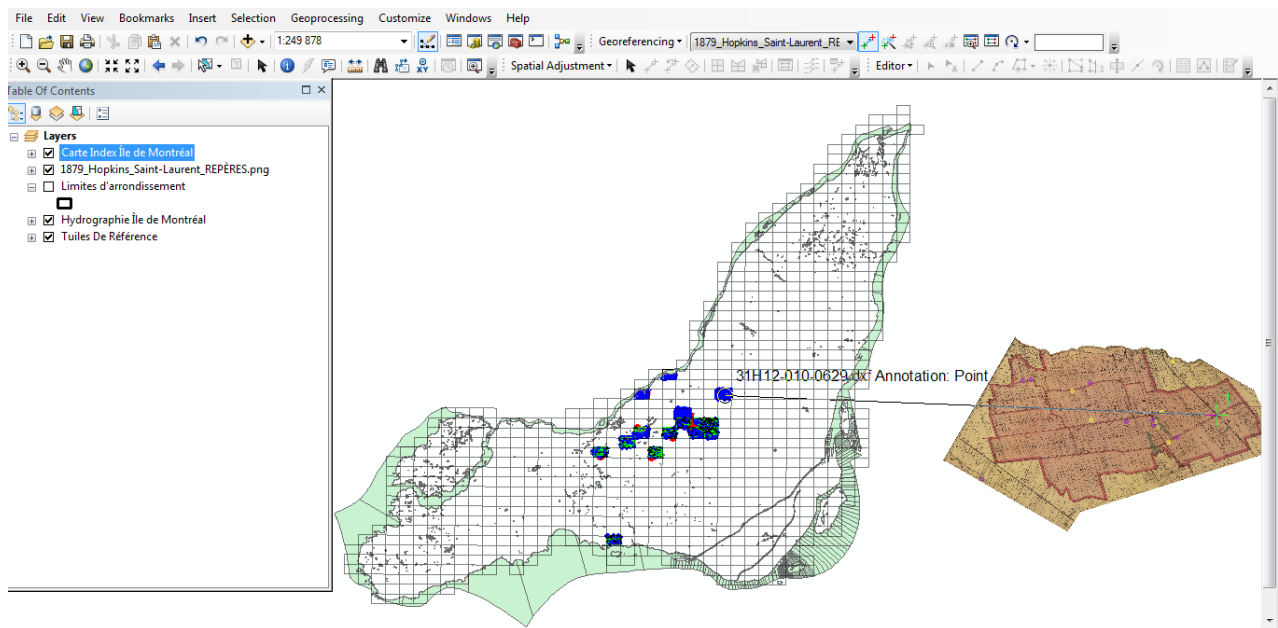
- iv. Il est maintenant possible de débuter le géoréférencement. Sélectionner l'image dans la table des matières à gauche (Image 3.11), puis cliquer sur *Add Control Points* dans la barre *Georeferencing* (Image 3.12) Il faut choisir un premier point sur l'image importée puis un 2^e sur sa destination sur la carte de référence pour créer un lien. De manière générale, plus il y a de liens, plus le géoréférencement est précis localement près des points ajoutés. Dans le cadre de ce travail, les cercles jaunes et mauves des images importées sont liés aux Tuiles de référence et aux Limites administratives pour effectuer le géoréférencement. (Image 3.13). Il est possible de voir les ajustements en temps réel en cochant l'option *Auto Adjust* dans le menu déroulant.



3.11 – Sélectionner le nom de l'image

3.12 – *Add Control Points*

3.13 – Les croix jaunes (position des points d'ancrages illustrant l'arrimage aux points de références et aux limites administratives).



3.14 – Déplacement initial de l'image en un point sur la carte de référence.

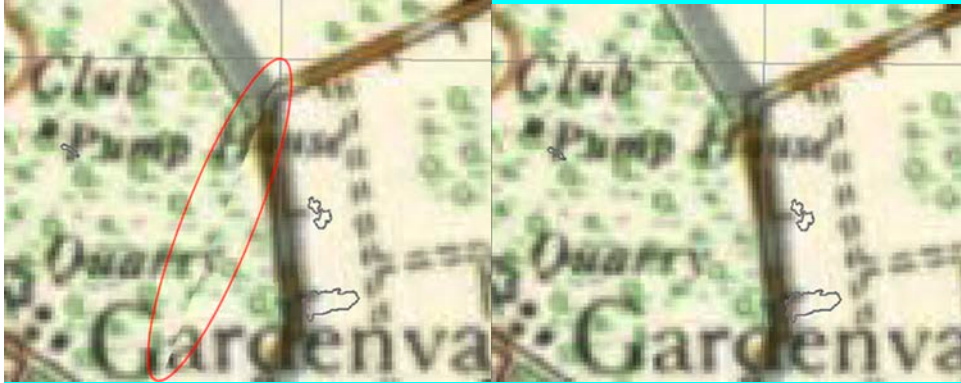
- v. Selon le nombre de liens créés, les modes de transformation possibles de l'image importée différeront. On choisit le type de déformation souhaité en cliquant sur *Transformation* dans le menu déroulant.

Méthode de transformation utilisée dans le logiciel de SIG pour la recherche

Le mode de transformation choisi à l'hiver et au printemps 2015 pour la déformation des cartes était le 3^e ordre polynomial (*Third Order Polynomial*) lorsque le nombre de points de géoréférencement était supérieur à 10 (en dessous de ce nombre, il n'est pas possible de sélectionner ce mode de transformation). Cependant, il s'est avéré que **mode optimal de transformation est Spline**. Ainsi, **le mode Spline a été adopté pour les nouvelles cartes produites**. Nous avons aussi utilisé le mode Spline pour géoréférencer de nouveau toutes les cartes qui avaient été géoréférencées avec le mode « 3eme ordre Polynomial » pour gagner en précision. Pour obtenir un résultat le plus juste possible, il est important de rappeler qu'il faut répartir de façon équitable les points de géoréférencement sur la carte, en insistant notamment au niveau de ses bordures.

Le 1^{er} Ordre polynomial et 2^e Ordre polynomial n'ont pas été choisis lorsque les points de repère étaient supérieurs à 10, car ils ne permettaient pas d'obtenir un résultat précis (la déformation de la carte étant limitée par ces modes). Par ailleurs, le mode de transformation Adjust n'a pas non plus été considéré, car à l'inverse, la déformation de la carte est telle qu'elle se retrouve coupée à

certains endroits (image 1.1). La transformation en Spline déforme la carte sans supprimer l'information (image 1.2).



1.1 – Transformation par Adjust : coupures 1.2 Transformation par Spline

Aucun mode de transformation ne permet d'obtenir un résultat parfait, mais chacun est plus ou moins adapté à la carte à géoréférencer : le choix du mode dépend de l'échelle de la carte donc le nombre de points de repères utilisés. Des informations plus précises sur chaque mode de transformation sont disponibles sur le lien suivant, on y trouve notamment plus de détails concernant les fonctions mathématiques utilisées pour déformer et géoréférencer les cartes :

<http://resources.arcgis.com/fr/help/main/10.1/index.html#//009t000000mn000000>
[0.](#)

Vérification par Angélique en août 2015 qui a permis d'opter pour Spline comme mode de transformation

Les fichiers suivants ne sont en aucun cas destinés à être publiés ou consultés comme représentant l'état final d'un travail.

> Fichiers comme outils décisionnels ou de vérification :

- 1934_1936_Comparaison_Transformations.psd :

– Emplacement :

DocumentsDeTravail_AngeliqueAubery_20150818/1909_1967_Cartes_Topographiques/1909_1967_Cartes_Topographiques_Georeferencees/1909_1944_Cartes_Topographiques_Georeferencees_Spline

– Concerne les cartes topographiques suivantes :

1934_31_H_12_Laval, 1935_31_H_05_Lachine et 1936_31_H_12_Beloil.

– Description : ce document superpose et présente un jeu des 3 cartes topographiques en plusieurs versions pour chacune, correspondant aux transformations possibles (1^{er} Ordre/2^d Ordre/3^e Ordre/ Adjust / Spline) dans le but de les comparer.

- 1934_1936_31H11_12_georeferencee_TESTS.psd :

– Emplacement :

DocumentsDeTravail_AngeliqueAubery_20150818/1909_1967_Cartes_Topographiques/1909_1967_Cartes_Topographiques_Georeferencees/1909_1944_Cartes_Topographiques_Georeferencees_Spline

– Concerne les cartes topographiques suivantes :

1934_31_H_12_Laval et 1936_31_H_11_Beloil.

– Description : ce document superpose et présente un jeu de 2 cartes topographiques couvrant l'est de l'île. Chacune présente en différentes versions (correspondant aux transformations possibles). Pour chaque version, les ruisseaux ont été retracés afin de mettre en évidence et évaluer les différences.

En cliquant sur *View Link Table*, il est possible de voir tous les liens, de les déplacer, les effacer ou d'en éteindre certains pour voir les transformations en temps réel.

Après avoir fixé tous les points, il est important de vérifier que les tuiles de référence actuelles de la ville sont visibles (Layer On) et de comparer attentivement les éléments de la carte qu'on géoréférence (alignement de rues, bâtiments, etc.) afin de voir si la correspondance est satisfaisante. Par exemple, il est possible d'avoir à ajouter ou même enlever un point pour que le géoréférencement soit plus exact, surtout au niveau des limites administratives. **Enregistrer la Table des liens en format txt.** Cette étape est importante, car en cas de corruption d'un fichier, les liens permettant de le géoréférencer ne sont pas perdus.

Une fois l'image arrimée à la carte de référence, il faut confirmer le géoréférencement.

Update georeferencing : Cette option masque les liens à l'écran et crée deux fichiers qui enregistrent les nouvelles coordonnées spatiales de l'image sans transformer l'image de base (Image 3.24). Ces deux fichiers portent le même nom que la carte, mais avec l'extension .pgwx et png.aux.xml. Il est donc possible de fermer ArcMap et de le rouvrir en gardant l'image en place, pourvu que les deux fichiers créés existent toujours. En ouvrant le fichier .mxd, les liens réapparaissent et il est toujours possible d'effectuer des modifications. S'il faut changer le nom de la carte géoréférencée pour une raison quelconque, il faut également modifier le nom des 2 fichiers de géoréférencement rattachés sinon le géoréférencement ne fonctionne plus.

Rectify : c'est cette option et non Update georeferencing qui permet d'obtenir une carte géoréférencée à proprement parler. Elle permet d'appliquer les transformations et crée un géotiff de la carte géoréférencée, ainsi que 3 fichiers associés, ex. :



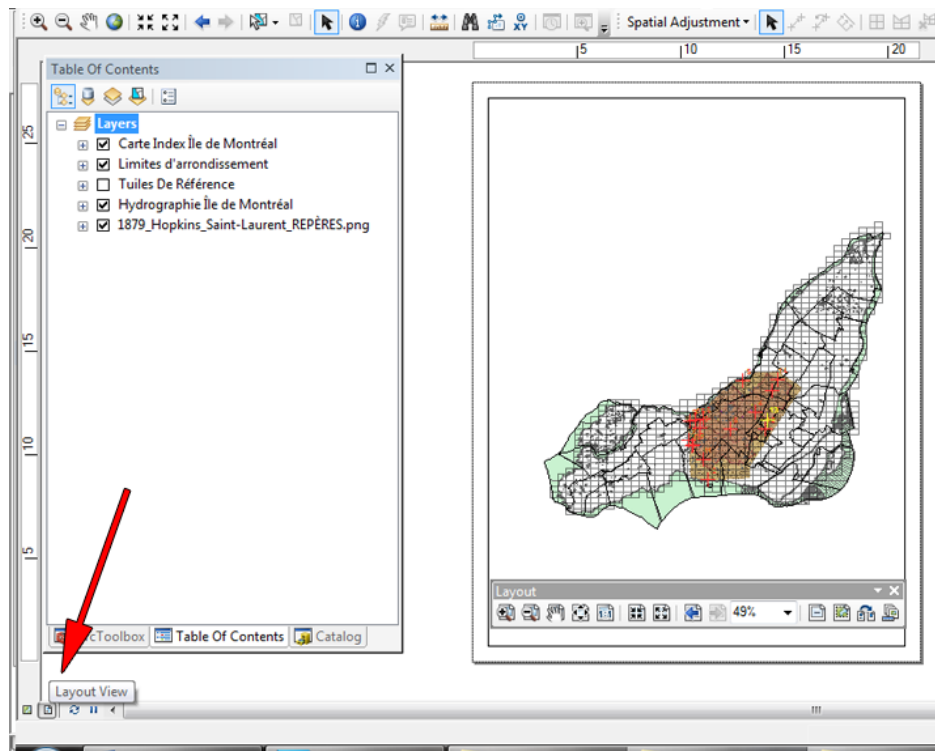
On ajoute _georeferencee au nom du fichier afin de ne pas le confondre avec la carte de base.

Si on souhaite géoréférencer plus d'une image dans le même document, on doit s'assurer d'avoir complété les étapes iii à vi pour chaque image avant d'en traiter une nouvelle.

- vi. Il faut enfin exporter cette carte géoréférencée en format raster dans le logiciel de dessin afin de servir de fond pour retracer en vectoriel les ruisseaux qui sont présents sur celle-ci. Encore une fois, il y a 2 options, **Export Map est la méthode employée pour cette recherche.**

Export Map : La commande se trouve dans le menu *File*. Le fichier est créé à partir de l'image du plan de travail en cours. Il suffit de choisir l'échelle appropriée afin de voir toute l'image à l'écran (Image 3.25). Le format .png a été choisi pour sa capacité à conserver une bonne résolution, sans être trop volumineux et en conservant la transparence. De plus, il peut être lu par AutoCAD. Le format de l'image en pixels s'ajuste en fonction de la résolution choisie. Afin de garder un poids gérable une fois la carte importée dans AutoCAD, on peut faire plusieurs tests de choix de résolution.

Layout +Export Map : (Image 3.26) Il est possible de faire une mise en page sur un format de papier déterminé, et appliquer une échelle arbitraire à l'image à exporter. On peut aussi ajouter un titre et une légende à l'image. L'exportation se fait ensuite de la même façon que Export Map. *Layout* n'a pas été utilisé dans le cadre de ce travail.



3.26 – Une mise en page avec titre, légende et échelle est également possible.

NOTE : En tout temps il est possible de recréer les liens entre fichiers source et leur layer du document .mxd. Cela est provoqué lorsque ces layers sont déplacés ou renommés sur l'ordinateur, brisant du coup l'arborescence. Pour ce faire, double-cliquer droit sur le layer défaut, *Data Source*. Les layers dont le lien vers le fichier est rompu sont reconnaissables lorsqu'un point d'exclamation rouge adjacent s'y trouve (Image 3.27). Il faut parfois ouvrir tous les sous-layers pour remarquer ce point d'exclamation.

MÉTHODOLOGIE SIG (.DWG, DXF OU AUTRE FICHIER VECTORIEL)

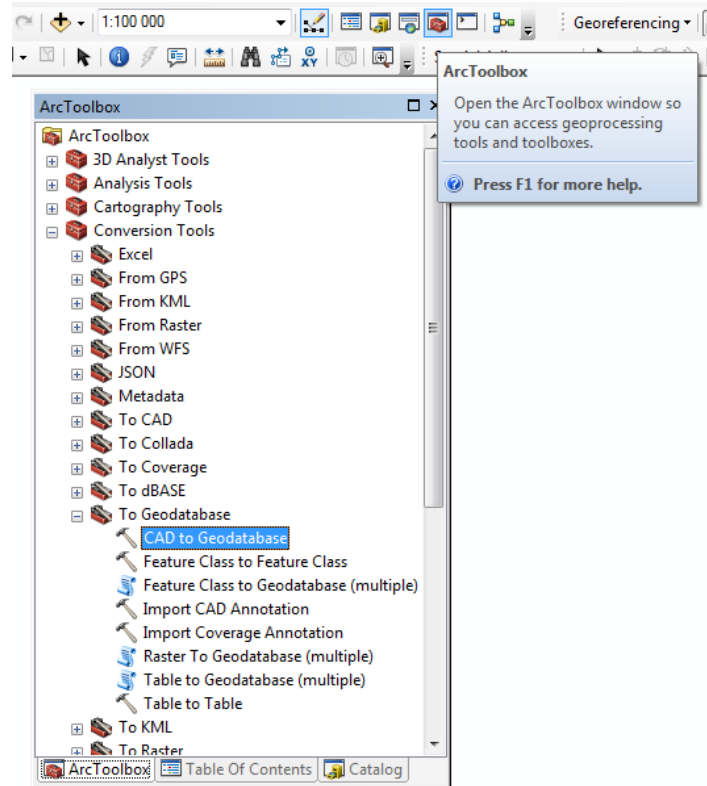
par Jean-Michel Lafortune

Il est aussi possible de transformer un fichier de dessin dans un logiciel de SIG, de manière comparable au géoréférencement. La façon de procéder est par contre très différente. L'intérêt d'effectuer les déformations d'un fichier vectoriel par SIG est qu'il permet de conserver toutes les propriétés du fichier au moment de l'exportation (calques, propriétés des traits, etc.). Cependant, la méthode précédente fonctionne aussi pour les fichiers dwg et a été utilisée durant la recherche.

- i. Importer toutes les cartes de référence nécessaires dans les Layers.

- ii. Cliquer sur l'icône *ArcToolbox* en haut au centre de l'écran, puis choisir *Conversion Tools*, *To Geodatabase*, puis *Cad to Geodatabase* (Image 3.28). Aller chercher le fichier .dwg ; le sélectionner dans fenêtre de commande et cliquer sur Ok. Il peut y avoir un délai de plusieurs minutes avant que le fichier Cad soit importé.

3.28 (Ci-contre) – ArcToolbox et outils de conversions (de Autocad vers ArcMap et inversement). ArcToolbox est aussi largement utilisé pour la création de bassins versants (Étape 6) du présent rapport.



- iii. Cliquer droit sur le nouveau fichier apparu dans la *Table des Matières*, puis *Zoom to Layer* pour retrouver le fichier Cad dans l'interface de travail
- iv. Ouvrir les barres d'outils *Spatial Reference* et *Editor*. Pour pouvoir modifier le dessin .dwg importé, d'abord cliquer sur *Editor*, *Start Editing*. Avec l'outil *Select Elements* de la barre *Spatial Adjustments*, sélectionner la totalité du dessin .dwg, puis le déplacer à proximité des cartes de référence. Dépendamment de la taille du fichier .dwg et de la distance de déplacement, cette opération peut s'avérer très laborieuse.
- v. Pour effectuer les transformations, sélectionner *New Displacement Link Tool*, puis choisir un 1^{er} point sur le .dwg importé et un 2^e point correspondant sur la carte de référence pour créer un 1^{er} lien. Contrairement au géoréférencement, il n'est pas possible ici de voir les modifications en temps réel. Par contre, on peut voir un aperçu de la transformation en cliquant sur *Adjustment Preview* du menu déroulant de la barre d'outils *Spatial Adjustments*.

- vi. Créer autant de lien que souhaité. Encore une fois, le plus de liens il y a, meilleure sera la transformation. Choisir la méthode de transformation qui donne le résultat le plus approprié en vérifiant avec *Adjustment preview*. Cliquer sur *Adjust* pour ancrer définitivement les modifications au fichier .dwg.
- vii. Pour exporter le fichier .dwg transformé, rouvrir *ArcToolbox*, aller dans *Conversion Tools, To CAD*, puis *Export To CAD*. La commande peut prendre un certain temps. Le fichier est réexporté en format .dwg.

Autre lien utile sur les méthodologies d'ajustement spatial (ArcGIS Resource Center) :

http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/About_spatial_adjustment/001t000000t5000000/