

CORRECTION GEOMETRIQUE D'UNE IMAGE SATELLITALE SUR UNE CARTE TOPOGRAPHIQUE

Vincent GODARD, Université Paris VIII

Type : TP
Niveau : Licence
Durée : 9 heures (en moyenne)
Thème : TELEDETECTION, SIG.

Objectifs :

Le but de ce TP est de rendre les étudiants autonomes quant à l'importation de données rasters (cartes topographiques, photographies aériennes, données satellitales...) dans un SIG. Il s'agit pour eux de réaliser, ici de façon pratique à l'aide du logiciel *Idrisi*, les corrections géométriques nécessaires à la superposition d'une image satellitale avec une carte topographique. Cette carte topographique a été préalablement numérisée pour simplifier la prise des points de calage (points amers). Il est également possible, en adaptant la méthode, de superposer des images satellitales entre elles avec ou sans référentiel topographique ou bien encore des cartes avec des systèmes de projection relativement semblables.

Le TP porte sur un petit secteur de la Forêt de Saint-Gobain dans l'Aisne (France). Les documents joints sont également accessibles sous forme numérique. Il s'agit :

- d'un extrait de la **carte topographique** de l'IGN de La Fère XXVI-10 au 1/50000, 3^{ème} édition de février 1978, scannérisée à 200 PPP ; Fichier - *crtopt1.bmp* -, au format bitmap il "pèse" 1,31 Mo.
- d'un extrait de l'**image satellitale** du capteur HRV1 de SPOT1 du 23 avril 1988, KJ 41-250, en mode panchromatique ; Fichier - *imasatp1.bmp* -, au format bitmap il "pèse" 382 Ko.

Les étudiants téléchargent les instructions (les mêmes que celles fournies ci-après) ainsi que les différents fichiers sur un site Internet :

<http://www.ipt.univ-paris8.fr/vgodard/enseigne/teled2/framtele.htm>, menu *TP1*. Puis, ils réalisent à leur rythme le TP en salle informatique sur les heures de libre service. Selon les étudiants, il faut compter entre 6 et 12 heures de travail en fonction du niveau de familiarisation avec l'outil informatique, s'ils doivent ou non scanneriser la carte, etc.

Déroulement :

Introduction :

La procédure de correction géométrique utilise des fonctions polynomiales pour déterminer les transformations qui ajustent le système de coordonnées de l'image satellitale sur celui de la carte topographique. Il faut se représenter cette transformation comme l'étirement d'une grille en caoutchouc, celle de l'image, sur une grille rigide, celle de la carte de référence.

Pour réussir cette transformation spatiale, on s'appuie sur le changement de coordonnées d'un petit nombre d'objets (les points amers) dont on a repéré la position dans l'image à corriger (le fichier image-satellitale) et dans l'image de référence (la carte). C'est par le calcul de l'écart entre la position des amers, dans le fichier à corriger et dans le fichier de référence, qu'on établit les formules de transformation pour passer d'un référentiel à l'autre en « gauchissant » tout le fichier. Il est donc important de choisir, d'une part, un nombre suffisant de points amers et, d'autre part, de s'assurer que leur répartition est homogène.

La lecture, en complément du cours, des passages concernant les corrections géométriques dans les ouvrages de Gérard Bonn (Bonn, 1992), Claude Collet (Collet, 1992) et Marc Robin (Robin, 1995), par exemple, permet d'approfondir le sujet (cf. bibliographie). Il en va de même de la description des fonctions EDIT, RESAMPLE, BMPIDRIS, PARE et CONCAT, dans le manuel d'*Idrisi*.

Ce TP est écrit pour *Idrisi* for Windows Version 2.0. ; il conviendra, peut-être, d'adapter à sa propre version les fonctionnalités décrites ici.

Première étape : Opération de mise en géométrie de la carte topographique de référence :

La scannerisation entraîne ou fige un certain nombre de déformations de la carte de référence (légère rotation, plis...) ; il convient de restituer à la carte numérisée sa géométrie initiale et de la rendre compatible avec *Idrisi*.

1.1. Mise aux normes *Idrisi* de la carte topographique

1.1.1. Scannerisation de la carte

Scanneriser la zone correspondant au secteur d'étude sur la carte IGN, ou la récupérer dans le fichier mis à disposition (*crtoptp1.bmp*). Le fichier issu de la scannerisation est de préférence :

- en niveaux de gris, moins volumineux qu'en couleurs (un fichier au lieu de trois) ;
- avec une résolution moyenne aux alentours de 200 points par pouce (PPP) ; il doit être peu volumineux mais permettre de voir les amorces de quadrillages kilométriques Lambert, UTM ou GPS ainsi que les principaux carrefours que l'on cherchera ensuite sur l'image satellite ;
- au format .BMP (non compressé) ou .TIF pour être facilement converti par *Idrisi*.

Dans la suite du TP, il aura le nom *crtoptp1.bmp*.

1.1.2. Intégration de la carte au format *Idrisi*

- Sélection de l'environnement de travail :

Il faut indiquer à *Idrisi* où se trouvent les fichiers de travail et donc créer au préalable un dossier StGobain qui contient le fichier (*crtoptp1.bmp*).

Procédure :

- aller dans la barre des menus et, sous le menu déroulant **Environnement**, sélectionner **ENVIRON** ;
- sélectionner le disque de travail (fenêtre **Drive** :) puis l'arborescence (fenêtre **Directory** :) qui mène au dossier StGobain (celui-ci doit s'afficher en surbrillance pour être sélectionné) qui contient le fichier (*crtoptp1.bmp*).

Conserver les extensions par défaut des fichiers pour ne pas avoir de problèmes ultérieurs de lecture.

- Conversion au format *Idrisi* :

Procédure :

- aller dans la barre des menus et, sous le menu déroulant **File**, sélectionner le module **Import/Export...** ;
- aller dans la nouvelle barre des menus et, sous le menu déroulant **Import**, sélectionner **Desktop Publishing Format**, puis **BMPIDRIS** ;

Celle-ci crée automatiquement deux fichiers (avec les extensions .IMG et .DOC) indispensables aux programmes d'*Idrisi*.

- choisir l'option **.BMP to Idrisi** ;
- indiquer le nom du fichier à importer (*crtoptp1.bmp*) dans le **Input filename** ;
- indiquer le nom du fichier de sortie [*crtoptp1* (sans les extensions, *Idrisi* s'en charge)] dans le **Output filename** ;
- puis cliquer sur **OK** pour le lancer.

La fonction indique qu'une palette (extension .SMP) portant le même nom que le fichier va être créée. Si la carte a été scannerisée en niveau de gris, cette palette est inutile car *Idrisi* en contient déjà une (*grey256.smp*). On peut donc la détruire.

Voilà, c'est fait : *Idrisi* a importé la carte topographique.

1.2. Levé des points amers

Les corrections géométriques proposées par *Idrisi* reposent sur des équations polynomiales du premier, deuxième ou troisième degré. En théorie, plus le degré est élevé, meilleur est le résultat. Cependant, le nombre de points amers (P) croît très fortement avec le degré du polynôme, car *Idrisi* refuse d'effectuer la correction si :

P < 3 lorsque l'équation est un polynôme du premier degré (n = 1)

P < 6 lorsque l'équation est un polynôme du deuxième degré (n = 2)

P < 10 lorsque l'équation est un polynôme du troisième degré (n = 3)

Idrisi calcule le nombre de points amers comme suit :

$$P = (n + 2) * (n + 1) / 2$$

avec :

P = le nombre de points amers,
n = le degré du polynôme qui calcule la transformation.

De plus, *Idrisi* préconise de multiplier par deux ou trois le nombre minimum de points amers pour effectuer les corrections. **On a donc toujours intérêt à choisir un maximum de points amers avec une répartition la plus homogène possible.** En général, on teste successivement les trois « corrections géométriques » en finissant par la transformation polynomiale du troisième degré, sauf si un résultat satisfaisant est obtenu dès les degrés précédents.

1.2.1. Relevé des points amers

L'expérience prouve que pour redresser une carte numérisée, le premier ou le deuxième degré suffisent. Il faut donc, au minimum, entre 6 et 12 points amers ($2 * P$). Pour des raisons de tailles de fichiers (téléchargement *via* Internet ou stockage sur disquette), la carte topographique à géoréférencer ne contient que 4 points amers. En dehors de cet exercice, il faut considérer cet échantillon comme notoirement insuffisant.

- Appel des fonctions dans *Idrisi* à l'aide de la fonction **Shortcut** :
Il est préférable d'utiliser les raccourcis clavier d'*Idrisi* plutôt que de rechercher les fonctions dans l'arborescence des menus.

Procédure :

- aller dans la barre des menus et, sous le menu déroulant **Environnement**, sélectionner **Short Cut**,
- un menu flottant s'affiche ; il suffit d'y taper les premières lettres de la fonction recherchée pour qu'elle soit sélectionnée, puis de cliquer sur **OK** pour la lancer.

- Afficher la carte numérisée à l'aide de la fonction **DISPLAY** pour repérer les croisillons du quadrillage kilométrique Lambert, ou, dans d'autres circonstances, la grille kilométrique UTM ou GPS en surcharge. **La suite du TP fait référence aux croisillons du quadrillage kilométrique Lambert zone 1** (chiffraison en noir à l'intérieur des échelles de marge).

Dans le cas du secteur de Saint-Gobain, il y a environ 10 « méridiens » et 10 « parallèles » Lambert zone 1. Cependant, les croisillons utilisables dans l'image ne sont tracés que tous les 5 kilomètres, réduisant à 4 ceux que l'on peut prendre comme amers. Ce sont donc ces points de coordonnées 675 et 680 km pour les méridiens et 1 205 et 1 210 pour les parallèles qui seront utilisés.

- Relever les coordonnées images de ces points, après avoir affiché la carte avec la fonction **DISPLAY** :

Procédure :

- repérer à l'écran et sur la carte chacun des quatre croisillons (doc. 1) ;
- relever, le plus précisément possible en faisant des agrandissements si nécessaire, leurs coordonnées X et Y écran (et non les coordonnées lignes « l » et colonnes « c ») à l'aide du pointeur de la souris ;
- noter pour chacun d'eux les coordonnées kilométriques Lambert zone 1 lues en noir sur la marge intérieure de la carte topographique.

En cas de difficultés ou si l'on n'a pas la carte, les coordonnées des 4 points amers sont les suivantes :

- Le point au NW de la zone d'étude est situé au sud de la ville de Saint-Gobain. Le croisillon amer est sous le mot *forest* de la Route forestière de Barisis, ses coordonnées image sont (pour

ceux qui utilisent le fichier *crtoptpl.bmp*) 91 en colonnes et 191 en lignes.

- Le point au NE de la zone d'étude est situé au sud-est du village de Saint-Nicolas-aux-Bois. Le croisillon amer est sous le Mont Hurpet, à côté d'un symbole de carrière, ses coordonnées image sont (pour ceux qui utilisent le fichier *crtoptpl.bmp*) 879 en colonnes et 203 en lignes.

- Le point au SW de la zone d'étude est situé à l'ouest de la ville de Prémontré. Le croisillon amer est sous le lieu-dit *Berjolet*, ses coordonnées image sont (pour ceux qui utilisent le fichier *crtoptpl.bmp*) 78 en colonnes et 980 en lignes.

- Le point au SE de la zone d'étude est situé à l'est de la ville de Prémontré. Le croisillon amer est à l'est du mot *forest* de la Route forestière du Jardinnet, ses coordonnées image sont (pour ceux qui utilisent le fichier *crtoptpl.bmp*) 865 en colonnes et 992 en lignes.

1.2.2. Création du fichier des points amers

Un éditeur de texte un peu rustique permet de créer le fichier des coordonnées des points amers. Le fichier doit se présenter de la façon suivante : en première ligne, il faut indiquer le nombre de points amers qu'*Idrisi* doit trouver, puis, ligne après ligne, **sur quatre colonnes séparées par un blanc**, les anciennes coordonnées X et Y (lues sur la carte numérisée affichée à l'écran) puis les nouvelles coordonnées X et Y (lues sur la carte papier). **Ne pas oublier de mettre un point et non une virgule pour marquer la décimale.**

- Lancer la fonction **EDIT** et choisir l'option pour éditer un fichier de correspondance **Correspondence file**, lui donner un nom comme « crtamers » (sans l'extension .COR qui est mise par défaut) et validez par **OK**.

- L'ordre des instructions inscrites dans ce fichier doit avoir l'aspect suivant :

```
4
0.0756906 0.8313783 675 1210
0.7285537 0.8209415 680 1210
0.0646498 0.1377035 675 1205
0.7169499 0.1267048 680 1205
```

On trouve :

- en première ligne, le nombre de points amers (ici 4, il doit donc être suivi de 4 lignes de coordonnées) ;

- en deuxième ligne, les coordonnées du premier point, ici les coordonnées de l'intersection du méridien 675 km avec le parallèle 1210 km ayant pour coordonnées X et Y de départ (X = 0.0756906 ; Y = 0.8313783) et X et Y d'arrivée (X = 675 ; Y = 1210) ;

- en troisième ligne, les coordonnées du second point, etc.

Chaque coordonnée est séparée de la suivante par un blanc. Chaque ligne se termine par un retour chariot. La dernière ligne de coordonnées se termine également par un retour chariot. Les

coordonnées indiquées ici ne sont correctes que si l'on utilise le fichier *crtoptp1.bmp* fourni. Si l'on a soi-même scannerisé la carte topographique, les coordonnées X et Y de départ seront quelque peu différentes.

- Sauvegarder par la commande **Save** puis quitter par la commande **Exit**.

1.3. Mise en géométrie de la carte numérisée

- Lancer la fonction **RESAMPLE**.

1.3.1. Signalétique de la future carte géoréférencée

Un certain nombre de rubriques sont à renseigner.

Procédure :

- cocher l'option **image** ;
- sélectionner le nom du fichier à corriger (**crtoptp1.img**) ;
- indiquer un nouveau nom pour ce fichier (en étant explicite) ;
- sélectionner le nom du fichier contenant les points amers (**crtamers.cor**).

Puis choisir les options suivantes :

- **plane** pour le système de référence (Reference system) qui est ici choisi par défaut car c'est un fichier de paramètres d'un système de référence inconnu (en attendant d'implémenter les projections Lambert, objet d'un autre TP) ;
- valider par défaut l'unité de distance (Reference unit) qui reste à **un** et la valeur du fond (Background value) qu'on laisse à **zéro** ;
- **km** pour l'unité de mesure (Unit distance), l'unité du quadrillage utilisé.

1.3.2. Taille de la future carte topographique

- *Idrisi* demande les coordonnées X et Y minimum et X et Y maximum dans le nouveau système de référence. Il est préférable de choisir des minima et maxima légèrement supérieurs aux dimensions réelles de l'image, quitte à redécouper le fichier par la suite. On retient un « X minimum » de 674 et un « X maximum » de 683, un « Y minimum » de 1 204 et un « Y maximum » de 1 212.

- Ensuite, il faut fournir le nombre de colonnes et de lignes de la future image. C'est ici que se détermine la résolution du futur pixel de l'image corrigée. Si l'on choisit, comme ici, d'avoir un pixel de dix mètres de côtés, il faut :

- que le nombre de colonnes soit égal à 900, car l'image fait 9 km d'ouest en est, c'est-à-dire : $[10 \text{ m} = (683 \text{ km} - 674 \text{ km}) / 900 \text{ pixels}] = [(X \text{ max.} - X \text{ min.}) / \text{nb. de colonnes}]$;
- que le nombre de lignes soit égal à 800, car l'image fait 8 km du nord au sud, c'est-à-dire : $[10 \text{ m} = (1\ 212 \text{ km} - 1\ 204 \text{ km}) / 800 \text{ pixels}] = [(Y \text{ max.} - Y \text{ min.}) / \text{nb. de lignes}]$.

- Puis, *Idrisi* demande le degré de la fonction polynomiale à appliquer (Mapping function). Avec quatre points amers, on ne peut choisir que le premier degré, mais, comme indiqué dans la documentation technique, il serait préférable d'avoir deux à trois fois le minimum de points amers pour obtenir de bons résultats, c'est-à-dire entre 6 et 9 points amers.

- on fait donc la transformation en sélectionnant **Linear**. La qualité du résultat dépend du degré du polynôme, mais est aussi fonction du soin apporté à la prise des points amers.

- Enfin, il faut indiquer si le ré-échantillonnage qui accompagne la correction géométrique doit se faire sur une interpolation par la méthode :

- du plus proche voisin (**Nearest neighbor**) ;
- bilinéaire (**Bilinear**).

Lorsque la déformation du fichier d'origine impose de créer de nouveaux pixels, ceux-ci peuvent être identiques à leurs voisins (**Nearest neighbor**), cas d'une carte, ou calculés comme étant la valeur moyenne des quatre voisins (**Bilinear**), uniquement sur des variables quantitatives (niveaux radiométriques ou altitudes par exemple). Pour des questions de temps de calcul c'est l'interpolation du plus proche voisin qui est presque systématiquement retenue.

- Validez par **OK**.

1.3.3. Qualité de la future carte topographique

- Cette étape franchie, *Idrisi* informe de la qualité de la correction qu'il va effectuer à partir du fichier de points amers. Celle-ci est exprimée à l'aide de la RMS Error, l'erreur quadratique moyenne, encore appelée erreur de positionnement. L'erreur de positionnement est exprimée dans l'unité du fichier origine et doit avoir la valeur la plus faible possible.

Idrisi permet de supprimer les points qui auraient des résidus trop importants, c'est-à-dire ceux qui auraient été mal « localisés ». Il faut dans ce cas désélectionner le point à omettre et recalculer l'ajustement sur les points restants. Avec seulement quatre points, il n'est pas possible d'éliminer les moins bons. Ils ont d'ailleurs tous la même erreur résiduelle. *Si, dans un autre cadre, on en désélectionne quelques-uns, il faut trouver une amélioration sensible, surtout après avoir omis les plus mauvais points, en prenant soin toutefois d'en conserver suffisamment. Si on ne peut en conserver plus de deux fois le minimum, il faudrait reprendre quelques amers ou/et tenter de corriger, parmi les premiers, ceux qui sont défailants.*

L'erreur de positionnement est exprimée dans l'unité du fichier d'origine : par défaut, c'est le kilomètre (s'en assurer avec la fonction **DOCUMENT**, à **Reference units**). On doit obtenir une erreur de positionnement inférieure à la résolution du pixel d'arrivée (dix mètres). Si ce n'était pas le cas, il faudrait vérifier une éventuelle faute de frappe dans le fichier correspondance qui stocke les points amers ou sélectionner de nouvelles coordonnées pour ces points amers. Ici, sur cette carte numérisée, il est possible que la RMS Error soit inférieure au mètre (c'est très théorique). J'ai personnellement trouvé une RMS error de 0,000119, soit de l'ordre du dixième de mètre (!).

- Dès que l'erreur de positionnement est satisfaisante, poursuivre la correction géométrique en validant **OK**. Les coefficients du polynôme apparaissent : les enregistrer pour les imprimer ultérieurement. La correction géométrique proprement dite peut être longue à réaliser, surtout si le fichier est volumineux et si le processeur de l'ordinateur est lent.

Lorsque la correction géométrique est achevée, contrôler que le fichier corrigé a bien tous les paramètres voulus. Le pointeur dans l'image doit indiquer des X et des Y cohérents et en km. Il est également possible, à l'aide de la fonction **DOCUMENT**, de vérifier les rubriques traitant des coordonnées géographiques. La carte doit sembler avoir subi une légère rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Son nord est maintenant celui de la projection Lambert zone 1. Il fait un angle de 0°49' vers l'est par rapport au nord géographique (cf. les renseignements marginaux de la carte topographique).

On a alors une carte en « géométrie » prête à géoréférencer les images satellitales de la zone.

Deuxième étape : Opération de mise en géométrie de l'imagerie satellitale par rapport à la carte topographique :

2.1. Mise aux normes *Idrisi* des fichiers image-satellitales

- Appel des fonctions d'Import/Export à l'aide d'une fonction **Shortcut** spécifique du module d'Import/Export.

Dans ce module, il est également préférable d'utiliser les raccourcis clavier d'*Idrisi* plutôt que de rechercher les fonctions dans l'arborescence des menus.

Procédure :

- aller dans la barre des menus et, sous le menu déroulant **Fichier**, sélectionner **Short Cut**.
- le menu flottant s'affiche ; il suffit là encore d'y taper les premières lettres de la fonction recherchée pour qu'elle soit sélectionnée, puis de cliquer sur **OK** pour la lancer.

- Deux cas de figure sont possibles pour importer des données satellitales :

1) Comme cela a été vu pour la carte IGN, il convient de mettre aux normes *Idrisi* le fichier image-satellitale (*imasatp1.bmp*). Celui-ci est en .BMP, il faut de nouveau utiliser la fonction **BMPIDRIS**. C'est le cas du fichier fourni pour ce TP (*imasatp1.bmp*).

2) Pour des fichiers image-satellitales provenant d'un fournisseur de données, il faut se renseigner sur la structure des fichiers (nombre de fichiers, en-tête, nombre de lignes et de colonnes, etc.) et utiliser la fonction **PARE**. Cette fonction sert essentiellement à éliminer l'en-tête (header) des fichiers de données et à créer le fichier image (.IMG) ainsi que le fichier documentation (.DOC) nécessaires à *Idrisi*. Il suffit de se laisser guider par les instructions. On note toutefois qu'il est possible de répondre par défaut aux questions ayant trait au système de référence (plane), à l'unité de référence (m) et à l'unité de distance (1). En revanche, pour le minimum de X et de Y, on répond 0 ; pour le maximum de X, on prend le nombre de colonnes multiplié par la résolution du capteur (soit, par exemple, 20 m pour SPOT XS et 30 m pour Landsat TM) ; pour le maximum de Y, on prend le nombre de lignes multiplié par la résolution du capteur. C'est lors de la correction géométrique par la fonction **RESAMPLE** que se fait le géoréférencement.

2.2. Mise en géométrie des fichiers de données satellitales

Cette étape est pratiquement identique à celle décrite pour la mise en géométrie de la carte topographique numérisée. Seules les phases variant significativement sont développées ci-après. Pour le reste, on se conforme à ce qui a déjà été effectué lors de la première étape pour le redressement de la carte topographique.

2.2.1. Relevé des points amers

Contrairement à la carte numérisée, l'image satellite nécessite généralement un redressement du troisième degré. Elle est souvent très « gauchie » par rapport à la carte topographique (en raison de l'angle de prise de vue combiné avec l'axe orbital).

- On affiche parallèlement la carte numérisée et le fichier image-satellitale de la même zone à l'aide de la fonction **DISPLAY** pour repérer des objets communs aux deux fichiers (les carrefours sont les objets les plus fiables). Puis, on relève successivement sur chacun des fichiers les coordonnées X et Y de chaque point amer. Ces derniers sont au nombre d'une vingtaine (environ deux fois les dix points amers minimum requis pour une correction géométrique du troisième degré, cf. 1.2.) et répartis sur l'ensemble de la zone de façon homogène (cette opération est évidemment plus facile avec un fichier de plus grande taille). On peut pour cela essayer de les répartir tous les 1, 2 ou n carreaux du quadrillage kilométrique UTM ou GPS, lorsqu'il est tracé. Cela revient à faire une sorte de tirage systématique.
- Pour faciliter la prise de points amers sur l'image satellitale, il faut :
 - afficher le fichier image-satellitale le plus contrasté possible ; en général, c'est la bande du proche infrarouge, ici, on ne dispose que d'un fichier panchromatique, ce sera donc lui ;
 - augmenter la dynamique de l'image avec la fonction **STRETCH**, puis afficher ce nouveau fichier [à dynamique réétalée et destiné à l'affichage (prise de points amers, photo-interprétation, etc.)] avec la fonction **DISPLAY**.

2.2.2. Création du fichier des points amers

Procéder comme au paragraphe 1.2.2. en donnant un nouveau nom au fichier des points amers, « imamers » par exemple, et en s'assurant que le nombre de points amers inscrit en tête du fichier est conforme au nombre de points amers.

2.3. Mise en géométrie des fichiers image-satellitales

Cette section est en tous points identique à la section 1.3. qui traitait de la mise en géométrie de la carte topographique. On note cependant qu'il faut faire autant de corrections géométriques qu'il y a de bandes spectrales (trois pour SPOT par exemple). On vérifie ensuite à l'aide de la fonction **DOCUMENT** que les nouveaux fichiers images géoréférencés sont bien

identiques, et donc superposables (même nombre de lignes, de colonnes, X et Y min. et max., etc.).

Rappel : dans le présent TP, il n'y a qu'un seul fichier image-satellitale.

Il est possible de faire ces opérations de correction géométrique sur plusieurs fichiers images plus ou moins jointifs (images satellitales, photographies aériennes, etc.). Il faut ensuite procéder au mosaïquage de l'ensemble à l'aide la fonction **CONCAT**.

Imprimer les résultats suivants :

- la carte topographique et l'image satellitale avec un titre, la direction du nord géographique, une source [plus le nom du concepteur dans le même bloc texte (extension .txt)], la grille du carroyage kilométrique Lambert utilisé (tout ceci se gère à partir du menu flottant **Composer**, sous-menu **Properties**, option **Modify map component**) ;
- les fichiers contenant les coefficients des polynômes et le degré de l'ajustement (issu de Mapping function) pour la carte topographique (cf. 1.3.3.) et l'image satellitale (cf. 2.3.) ;
- le fichier document (extension .doc) complété du degré de l'ajustement (passer par la fonction **DOCUMENT**, onglet **Comments**...) ;
- un commentaire d'une page maximum relatant les observations et analyses sur les corrections géométriques effectuées.

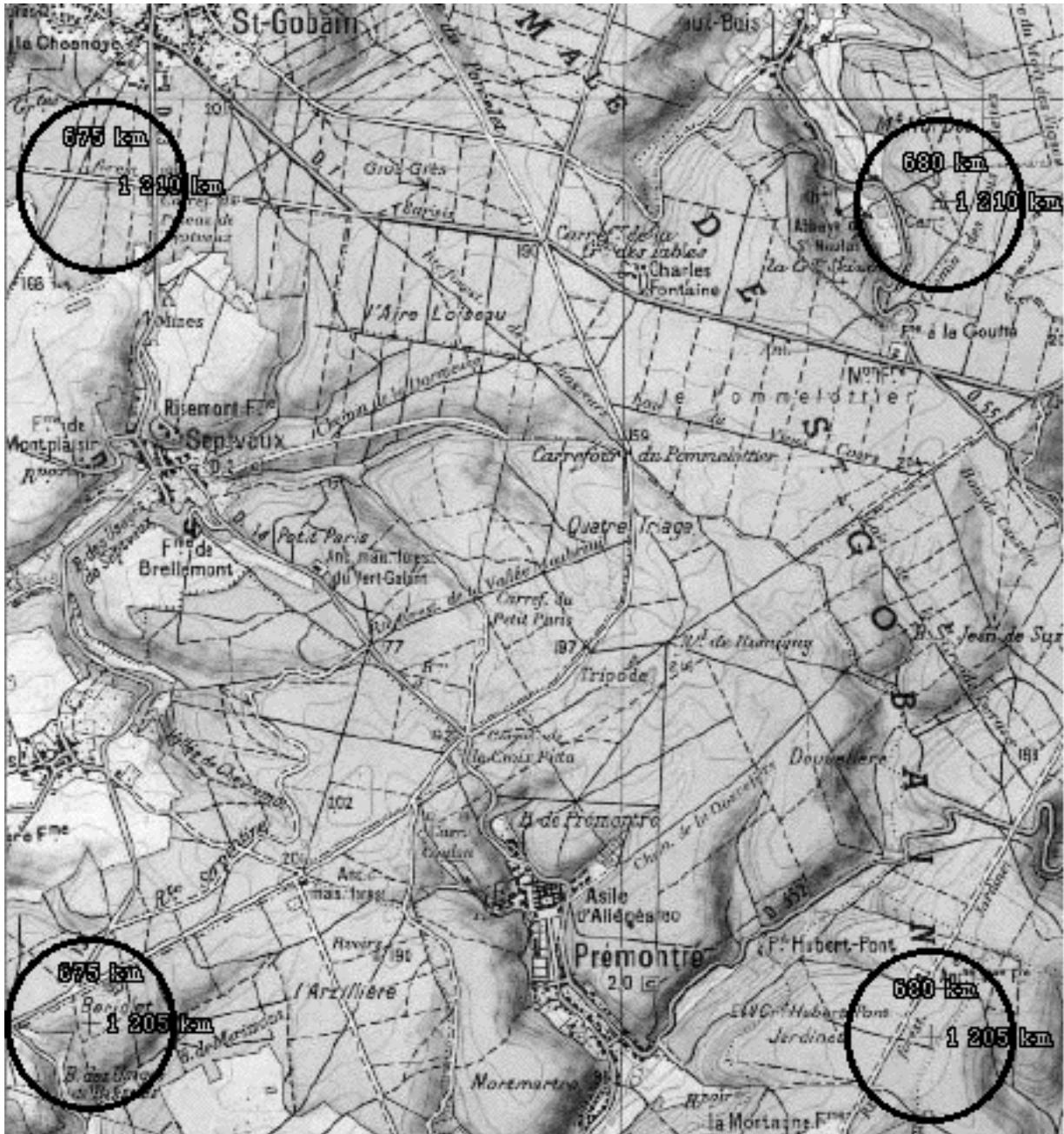
Indiquer le temps passé et les difficultés rencontrées pour que ce TP soit amélioré dans une prochaine édition.

Bibliographie :

- BONN F., ROCHON G., 1992, *Précis de télédétection*, volume n°1 : *Principes et méthodes*, Québec, PUQ/AUPELF, 477 p.
- COLLET C., 1992, *Systèmes d'information géographique en mode image*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, Coll. Gérer l'environnement n°7, 186 p.
- ROBIN M., 1995, *La télédétection*, Paris, Nathan, 318 p.

Document 1

LOCALISATION DES POINTS AMERS SUR LA CARTE TOPOGRAPHIQUE



Source : IGN, carte topographique de La Fère XXVI-10, 1/50000, 3^{ème} édition, février 1978.

Document 2

IMAGE SATELLITALE DE LA FORÊT DE SAINT-GOBAIN



Source : SPOT1, capteur HRV1, 23 avril 1988.