



Manuel de cartographie rapide

De l'échelle de la région
à celle du mobilier urbain

Bernard Lortic

avec la collaboration de Dominique Couret

IRD
Institut de recherche
pour le développement



Manuel de **cartographie rapide**

De l'échelle de la région à celle du mobilier urbain

Bernard Lortic
avec la collaboration de Dominique Couret

Manuel de cartographie rapide

De l'échelle de la région à celle du mobilier urbain

IRD
Institut de recherche pour le développement
Marseille, 2011

Crédits

Conception graphique et maquette

Marie-Odile SCHNEPF

Numérisation des photos

Annick AING

Correction éditoriale

Yolande CAVALLAZZI

Lecture éditoriale

Elisabeth HABERT

Sous la direction de Marcia De ANDRADE MATHIEU

Responsable du Service Cartographie de la DIC (AIRD)

Remerciements

Ce travail est le fruit d'une recherche en équipe. L'expérience sur laquelle se fonde la méthode provient aussi bien de travaux de développement informatique que de travaux de terrain. Nombreux ont été les collaborateurs.

Il faut particulièrement citer :

Marc SOURIS, Zelealem ADDIS et Denis GÉRARD ;

Zewdu ALEBACHEW qui a réalisé un test particulièrement important ;

les étudiants de la FUDS et le personnel des mairies de Hossaena et de Debre Birhan qui ont su rester tenaces et enthousiastes ;

Pascale METZGER pour avoir eu l'idée d'une telle méthode et la conviction de son utilité ;

enfin Marcia De ANDRADE MATHIEU, Elisabeth HABERT et Marie-Odile SCHNEPF pour leur soutien très actif sans lequel l'élaboration et la rédaction de ce manuel de cartographie rapide n'auraient pu aboutir.

Photos de couverture

De gauche à droite, Le nouveau château d'eau, Debre Birhan (2007), © B. Lortic – Employés municipaux en cours de stage de cartographie, Debre Birhan (2007), © B. Lortic – Nouveau quartier, Addis Abeba (2008), © B. Lortic – Planification des nouveaux habitats collectifs, Addis Abeba (2008), © B. Lortic.

Photos de dos de couverture

De gauche à droite, Extension périphérique récente, Debre Birhan (2007), © B. Lortic – Plots de bornage de parcelles en attente d'être posés, Debre Birhan (2007), © B. Lortic – Nouveaux immeubles en construction, Debre Birhan (2007), © A. Aing – Relevé GPS par les élèves de la faculté d'urbanisme, Debre Birhan (2007), © B. Lortic.

Debre Birhan (Éthiopie), composition colorée, image Quick Bird (02-12-2007).

7	Préface
9	Avant-propos
13	Présentation de la méthode
	Une cartographie simple et fonctionnelle
15	Fiche 1 – Modélisation des objets géographiques
	Quelle précision ?
19	Fiche 2 – L'échelle
21	Fiche 3 – La précision
23	Fiche 4 – Les systèmes géodésiques
	Quelles sources de données géographiques ?
27	Fiche 5 – Scanner une carte
31	Fiche 6 – Scanner un plan ou un schéma
33	Fiche 7 – L'offre d'images à Très haute résolution spatiale (THRS)
35	Fiche 8 – La spécificité des images à Très haute résolution spatiale (THRS)
37	Fiche 9 – Le serveur Google Earth via Savedit
39	Fiche 10 – Les données d'altitude – SRTM – GDEM – Reference3D
	Géoréférencer les données
41	Fiche 11 – Le fonctionnement du système GPS
43	Fiche 12 – Utiliser le Géoportail de l'IGN ou Google Earth
45	Fiche 13 – La méthode de recalage par tessellation
49	Fiche 14 – La méthode de relevé par traces de points GPS
53	Fiche 15 – Intégrer des données GPS dans un SIG
55	Fiche 16 – Choisir le matériel GPS
57	Fiche 17 – Géoréférencer une image
61	Fiche 18 – Géoréférencer une carte
	Fabriquer la carte, extraire les données
63	Fiche 19 – Photo-interpréter une image
67	Fiche 20 – Saisir des points
69	Fiche 21 – Tracer la voirie
71	Fiche 22 – Saisir les îlots ou pâtés de maison
73	Fiche 23 – Saisir le bâti
75	Fiche 24 – La codification hiérarchique
79	Fiche 25 – Extraire la végétation
81	Fiche 26 – Extraire les altitudes
	Légènder la carte, actualiser les données
83	Fiche 27 – La légende ou dictionnaire des données
85	Fiche 28 – Actualiser la carte
	Annexes
89	Bibliographie
93	Glossaire

Liste des séquences vidéo

- Fiche 1 – Schéma d'une base de données géographiques
- Fiche 2 – L'échelle sur le Géoportail de l'IGN
- Fiche 3 – Un problème de précision
- Fiche 4 – Changer de datum
 - Passer de WGS84 au système géodésique éthiopien
- Fiche 5 – Scanner une carte
- Fiche 6 – Scanner un plan ou un schéma
- Fiche 7 – Explorer le site DigitalGlobe
 - Capturer des images avec l'API Google
 - Explorer le site GeoEye
- Fiche 8 – Spécificité de la THRS
- Fiche 9 – Le serveur Google Earth *via* Savedit
- Fiche 10 – Intégrer SRTM
 - Intégrer GDEM
- Fiche 12 – Utiliser Google Earth
- Fiche 13 – Géoréférencer une image sur une carte
- Fiche 15 – Intégrer les données GPS dans un SIG
- Fiche 17 – Géoréférencer une image d'après les traces GPS
- Fiche 18 – Géoréférencer une carte
- Fiche 19 – Photo-interpréter une image
- Fiche 20 – Digitaliser des objets «points »
- Fiche 21 – Digitaliser des objets « lignes »
- Fiche 22 – Digitaliser des objets « zones », les îlots
- Fiche 23 – Digitaliser des objets « zones », les bâtiments
- Fiche 24 – La codification hiérarchique
- Fiche 25 – Extraire la végétation
 - Utiliser les macro-commandes
- Fiche 26 – Digitaliser les courbes de niveaux
 - à partir d'une carte au 1 : 50 000
 - à partir d'une carte au 1 : 2 000
 - Interpoler courbes de niveaux et points cotés
- Fiche 27 – Présentation du dictionnaire de la base « Debre Birhan »
- Fiche 28 – Actualiser la carte

Pour la petite communauté des cartographes, comme du reste pour beaucoup d'autres communautés techniques, nous vivons une époque extraordinaire. Certes, l'irruption de l'informatique personnelle et de l'imagerie spatiale dans les années 80, puis celle du GPS, des logiciels de systèmes d'information géographiques (SIG) et les progrès de la géodésie, avaient ouvert des quantités de perspectives nouvelles. Mais le mouvement ne s'est pas arrêté là, et nous avons tiré les dividendes de quantités d'autres progrès majeurs. En vrac :

- la photographie numérique grand public,
- les mémoires des ordinateurs personnels permettant de stocker, gérer et traiter des quantités énormes de ces images, et permis l'essor de l'orthophotographie,
- les logiciels de traitement d'image, de photogrammétrie et de 3D en général,
- les images satellite avec des pixels de plus en plus petits qui permettent souvent de remplacer la prise de vue aérienne,
- les réseaux et les télécommunications permettant d'échanger et de consulter des données géographiques dans le monde entier,
- la mesure de la Terre à quelques millimètres près, permettant enfin d'accéder à une référence géographique unique et extrêmement précise,
- la prise de conscience de l'importance capitale des données géographiques pour une gestion intelligente des territoires, avec le développement de sites géographiques d'accès complètement libre, institutionnels (Géoportail en France) ou commerciaux (Google Earth, Virtual Earth, etc.) extraordinairement riches et faciles d'accès,
- la profusion des bases de données géographiques locales, nationales et mondiales, dont l'emploi est en outre grandement facilité par l'évolution des logiciels de SIG dont la puissance et l'ergonomie permettent une prise en mains aisée.

Et la liste n'est certainement pas finie...

Mais, paradoxalement, tout ceci n'a pas changé grand-chose pour le cartographe. Certes celui-ci bénéficie d'un accès très rapide à des montagnes d'informations, et il a dû devenir un virtuose de l'extraction des données pertinentes. Mais, en dernier lieu, il doit toujours développer, à côté de son expertise technique, tout son sens graphique et même artistique pour rendre facile à comprendre les données acquises. S'il est devenu très facile de faire une mauvaise carte, il est toujours aussi délicat d'en faire une bonne...

Le présent ouvrage est bâti sur la longue expérience de télédéacteur et de cartographe de terrain de Bernard Lortic et propose toute une série de recommandations simples pour réaliser une carte en mobilisant peu de moyens. Dans ce qui suit, ce ne sont pas les quelques développements théoriques qu'il faudra retenir (il existe déjà une abondante littérature pour ceux qui voudront approfondir), mais bien plutôt la démarche pragmatique et efficace articulant utilisation des outils géomatiques et pratique du terrain, avec des quantités d'illustrations concrètes qui pourront directement servir d'exemple pour les cartographes de demain. À ce titre, ce manuel forme une excellente base pour ceux qui, sans aucune spécialisation en géomatique moderne, voudront réaliser une cartographie rapide, destinée par exemple à des recherches pour le développement de leurs pays : je leur souhaite à tous un bon travail, perpétuant une démarche millénaire, celle de connaître son environnement pour mieux le gérer...

Michel Kasser

Directeur de l'École nationale des sciences géographiques

—>l'École de la géomatique

Ce manuel se veut être une description la plus simple possible d'une méthode de cartographie rapide adaptable à toutes les situations. L'idée d'écrire ce manuel m'est venue à la suite des travaux réalisés dans le cadre des quelques années que j'ai passées en Éthiopie, entre 2005 et 2008, à enseigner la télédétection et les systèmes d'information géographique à l'École nationale d'administration éthiopienne (Ethiopian Civil Service College*), dans le cadre d'un accord de partenariat entre l'unité de recherche 029 *Environnement urbain* de l'IRD* (Institut de recherche pour le développement) et la faculté de planification urbaine de cette école éthiopienne. L'ambition, côté IRD, était de traiter du développement urbain en croisant des thèmes géographiques comme démographie, structure socio-économique, gouvernance, patrimoine, environnement, etc. Je me souviens avoir présenté à nos collègues éthiopiens, au début du programme, des travaux macroscopiques à propos de la morphologie des grandes villes mondiales, mettant en valeur l'élaboration et le suivi d'indicateurs, comme densité du bâti, ségrégation sociale, centralité, type d'habitat majoritaire... Ces thèmes et ce sujet trouvaient alors le plein accord du corps enseignant éthiopien qui, je pense, en comprenait tout l'intérêt. Mais c'était sans compter sur le décalage important entre notre point de vue scientifique issu de l'enseignement universitaire français qui consiste à d'abord observer, « trier » les données, en cherchant celles qui seront les plus à même de décrire une « réalité » ; et la position de fait des Éthiopiens dans l'urgence à agir. D'une part, ils disposaient de peu de données et le plus souvent ces données étaient rendues totalement obsolètes de par la rapidité des changements démographiques et sociologiques en cours dans ce pays. D'autre part, la priorité éthiopienne était non pas d'observer mais bien de planifier le développement urbain. Dans cet objectif très concret, les enseignants éthiopiens partisans d'une planification faisaient chaque année réaliser par les étudiants de 4^e année un exercice de « master plan » sur une petite ville. En France, et plus généralement en Europe, ce sont des bureaux d'étude

qui sont contactés pour effectuer ce genre de travail. Ils s'appuient alors sur de très nombreuses données déjà existantes : cadastre, données de l'INSEE*, données de l'IGN* via le Géoportail*, etc.

La situation éthiopienne était quelque peu différente. Dès ma première expérience, à Woldyia, petite ville qui avait été choisie comme terrain pour la réalisation du « master plan » en 2005, j'ai été confronté aux pratiques des étudiants. Ils ne disposaient que de copies de cartes sur diazoïque bleu assez illisibles et de plus totalement caduques de par leur ancienneté. Par ailleurs, ils manipulaient pendant des heures des décimètres à ruban pour des relevés de grande précision mais absolument pas géoréférencés. Les étudiants et la municipalité étaient, non pas aveugles, mais un peu perdus, n'ayant que très peu de moyens pour localiser et intégrer dans l'espace leurs connaissances pourtant importantes. Dans un pays très policé et où chaque habitant est fiché par une carte d'identité sur laquelle figure l'adresse du bâtiment d'habitation, il s'avérait que les cadres territoriaux élèves de la faculté d'urbanisme avaient beaucoup de mal à « localiser » correctement. Ceci ne les empêchait cependant pas de produire des diagnostics intéressants. Corriger cette lacune et donner à ces étudiants le moyen de s'approprier cette maîtrise de la localisation géographique et de la cartographie géoréférencée me sont ainsi très vite apparus comme un enjeu important et utile.

Nous avons donc, très rapidement, élaboré une « méthode de cartographie rapide ». Rapide, cela voulait dire un délai raisonnable en rapport avec les besoins de l'Éthiopie : trois mois, deux mois, voire 15 jours. Dans ce délai, il s'agissait de produire un plan de ville complet, incluant toutes les rues, tous les bâtiments, les pentes, toutes les limites administratives. Il fallait aussi maîtriser la rectitude géométrique et la précision avec laquelle les objets étaient cartographiés.

Les trois années qui ont suivi ont permis d'affiner et de tester, avec trois promotions d'étudiants successives, la méthode que nous proposons. L'idée de faire un « manuel » décrivant brièvement les princi-

* Cette étoile indique la présence d'une définition dans le glossaire en fin d'ouvrage.

pes théoriques, les étapes et les « trucs » de réalisation pratique a donc fait son chemin.

Les concepts globaux de la méthode étaient présents dès 2005 mais il fallait décrire précisément chacune des étapes dans un manuel d'un type qui n'existait pas jusqu'à aujourd'hui. Il faut bien comprendre qu'à cette date il semblait largement inconcevable de donner à un non-initié la maîtrise d'une cartographie de ville jusque-là produite exclusivement par des professionnels. Quelqu'un n'ayant pas fait d'études longues de topographie, n'ayant pas derrière lui une équipe importante de géomètres et topographes, n'était pas perçu comme à même d'effectuer un tel travail. Et pourtant avec ces étudiants éthiopiens et leurs professeurs nous l'avons fait sur plusieurs villes éthiopiennes. Par ce manuel je veux en témoigner et expliquer qu'aujourd'hui, grâce à l'évolution des sources et du traitement de la donnée géographique, cela s'avère possible et même assez facile. Les professionnels avertis trouveront mes conseils parfaitement triviaux... mais ce que j'espère surtout, c'est que les non-professionnels les trouvent suffisamment clairs et transparents pour les utiliser !

Certes, il faut espérer que ce manuel aura une durée d'intérêt assez courte. Les gens apprennent vite. Certains collègues éthiopiens ont bien assimilé et me le témoignent aujourd'hui en utilisant toujours cette méthode. Il faut espérer que d'ici quelques années la pratique du levé cartographique se répande, comblant les inévitables manques des organismes nationaux qui n'ont pas les moyens humains de réaliser la cartographie pour l'ensemble des besoins.

La publication d'un manuel sera-t-elle utile ? La littérature existante n'est-elle pas suffisante ?

C'est la première question que je me suis posé. Il m'a semblé que la littérature française actuelle est destinée à des acteurs « anciens », formés en fonction des moyens technologiques anciens. La nette différence de métier entre les topographes qui établissent les données géographiques et les cartographes qui les publient peut ainsi s'expliquer par les nombreuses difficultés technologiques autrefois afférentes à chacun de ces deux domaines. De ce fait, il n'était guère concevable qu'un même individu puisse exercer les deux fonctions. La littérature actuelle reflète l'héritage de cette séparation. Celle destinée aux cartographes approfondit la sémiologie graphique. Celle destinée aux futurs géomètres experts détaille l'utilisation des stations de levé. Les ouvrages traitant de l'ensemble de la chaîne de la cartographie, du levé à la publication sont très rares. « Chacun son métier et les vaches seront bien gardées » entend-on quelque-

fois. Il est clair que depuis 50 ans les vaches sont en effet gardées par des clôtures électriques... Mais il se trouve que d'ici peu et en raison de l'innovation technologique toujours en marche, elles pourront l'être autrement : par GPS*. Cela veut dire un vrai changement dans les modes d'organisation car elles ne seront alors plus « gardées » mais « gérées »...

L'ambition de Google* comme d'OSM* est de faire appel aux internautes pour compléter la cartographie mondiale sur leurs sites respectifs. Ce manuel n'est pas destiné à ces internautes amateurs de géographie, mais à une autre catégorie de producteurs de cartes : les acteurs locaux. Mon objectif est plutôt d'apporter aux acteurs municipaux ou régionaux la possibilité de créer et de maîtriser les données concernant leur ville ou leur région.

En quoi est-il utile de proposer à chacun la maîtrise de sa propre cartographie urbaine à l'époque du partage internet des données terrestres ?

Le programme OSM, OpenStreetMap vise, comme Google Earth* et avec une licence de type Creative Commons*, à créer une cartographie de toutes les voies et objets viaires dans le monde entier, alimentée par des bénévoles. Le credo commun de Google et OSM est de mettre aujourd'hui la cartographie à la portée de tous. Depuis début 2009, j'ai pratiqué ces programmes et cherché à évaluer comparativement leurs avantages et inconvénients par rapport à la méthode proposée dans ce manuel. Ces deux programmes empruntent largement des voies similaires à la méthode ici proposée, notamment avec l'exploitation de deux outils nés de la technologie moderne : l'image aérienne et spatiale (satellitaire) et le GPS. Disons que la méthode proposée dans ce manuel répond mieux aux besoins cartographiques des acteurs urbains locaux.

Par rapport à ces besoins, le formatage unique comme corollaire de la mise en commun universelle à un niveau planétaire limite l'intérêt, à l'échelle locale, des programmes Google et OSM. Par exemple, pour OpenStreetMap la légende proposée est assez contraignante, plus orientée vers un usage préconçu pour le tourisme et non pour la gestion du territoire.

Google Earth utilise largement l'imagerie mais sans beaucoup de précaution car il ne recourt que partiellement à la rectification d'image. OpenStreetMap utilise le GPS, de façon presque exclusive à ses débuts. Notre méthode articule dès l'origine ces deux outils, cela en continuité avec les acquis réalisés au sein de l'IRD dès 1992 et pour répondre aux besoins exprimés par les partenaires locaux (municipalités, acteurs du développement) : d'une part la mise au point

d'une méthode simple de rectification d'image ; d'autre part la pratique et l'exploitation des levés GPS en milieu urbain.

L'utilisation des données et de la cartographie produite est peu traitée dans ce manuel. De même, on y trouvera peu de choses sur la sémiologie et la création de l'information spatiale. Pour cela, de nombreux ouvrages de « cartographie » sont déjà disponibles (cf. références bibliographiques en fin d'ouvrage).

Ce manuel de cartographie rapide est la description d'une méthode qui permet de faire la carte d'un territoire local en deux mois. Il ne s'agit plus d'une carte au sens classique mais plutôt d'une base de données géolocalisées dans ce que l'on appelle aujourd'hui un SIG*, un LIS*, un IULIS*, etc. Nous allons tenter de faire comprendre et utiliser des

concepts de rectification géométrique d'images, d'exactitude et de précision et de bases de données relationnelles. Cette méthode a été élaborée à partir du système SavGIS* (IRD) mais nous décrivons dans ce manuel les différentes étapes et processus sans référence à un logiciel particulier. Cependant, les exercices et démonstrations proposés sous forme de clips vidéo sont effectués avec SavGIS qui s'avère le seul logiciel dont une version gratuite permet de mettre à votre disposition une démonstration correcte de l'ensemble des opérations proposées.

Vouloir que ce manuel de cartographie rapide reste actuel est une gageure car le domaine cartographique continue bien sûr à évoluer très vite : chaque semaine apporte ses nouveautés... Certaines fiches de ce manuel sont ainsi déjà irrémédiablement datées et vous devrez donc les actualiser.

Une méthode de cartographie rapide, simple et fonctionnelle : deux outils, six étapes et quelques règles...

La méthode de cartographie rapide proposée dans ce manuel consiste à concevoir une base de données géographiques à partir de laquelle la cartographie recherchée pourra ensuite être composée puis imprimée. Le coût financier d'une telle base de données cartographique peut rester modeste et deux mois de travail individuel suffisent, qu'il s'agisse d'une carte régionale ou d'une carte comme celle réalisée pour la mairie de Debre Birhan (Éthiopie). Enfin, la réalisation d'une telle cartographie rapide est grandement facilitée par l'accès maintenant devenu courant aux images satellitaires. L'utilisation de la télédétection en cartographie est effective depuis bien 40 ans mais ce n'est que très récemment et surtout grâce à Google que les images satellites sont aujourd'hui universellement accessibles à tout le monde. Lorsqu'on visualise une de ces images sur Google Earth, il apparaît évident que l'on y voit tous les objets nécessaires pour composer une carte. Il est ainsi tout à fait simple d'extraire des images satellitaires disponibles les informations nécessaires pour cartographier les voies, les bâtiments, certains objets urbains, les cours d'eau... Aussi ce manuel se limite donc à donner quelques conseils, presque des recettes, sur la façon d'exploiter cette ressource. Par contre, le géoréférencement et son rôle clé pour la réalisation d'une cartographie à la fois rapide et exacte, ont fait l'objet d'explications plus détaillées. De même, une large place a été donnée à la présentation d'un second outil essentiel : le GPS, aujourd'hui accessible au grand public. L'utilisation du GPS ici proposée est à la fois aussi rigoureuse et plus légère que celle présentée dans le programme OSM.

Cette méthode est aussi le fruit d'une expérience personnelle répétée de maniement de ces outils et de confrontation à ces besoins de cartographie rapide, simple et fonctionnelle, tout au long de plus de 20 années de travaux d'étude et de recherche sur le développement urbain. Elle a aussi été en grande partie inspirée par les possibilités logiques et pratiques, très nombreuses, offertes par le logiciel SavGIS*. Nous avons cependant essayé d'être le plus générique possible dans ce manuel, en nous

abstrayant de toute référence spécifique à SavGIS. Tout ce qui est proposé ici doit pouvoir être réalisable avec un logiciel SIG courant. Malheureusement j'ai pu constater par mon suivi, très attentif, des réponses aux questions posées sur les listes Georezo* et ForumSIG*, que des problèmes qui me paraissaient simples à résoudre en utilisant ce logiciel, ne trouvaient pas toujours de solution facile avec d'autres logiciels.

Pour bien appliquer cette méthode de cartographie rapide, votre démarche doit impérativement parcourir les six étapes suivantes et respecter quelques règles.

1 - Toujours réfléchir en amont la conception de la cartographie en fonction de votre besoin

Pour cela la fiche 1 vous aidera à modéliser vos objets cartographiques, la fiche 2 à choisir les bonnes échelles et la fiche 3 à sélectionner les précisions adaptées et les bonnes échelles. La fiche 4 vous permettra une maîtrise minimale des systèmes géodésiques de façon à vous éviter les écueils hélas nombreux lors du géoréférencement de vos données et des objets retenus pour être cartographiés. Dans la fiche 27 vous trouverez comment transférer votre modèle conceptuel dans le schéma et le dictionnaire de la base de données cartographique.

2 - Déterminer ensuite le périmètre géographique à cartographier

Google Earth est l'outil le plus simple pour localiser et visualiser votre zone d'intérêt. Quels que soient vos moyens d'accès à internet, Google Earth fonctionnera ; certes en 56 ko pour la pire des situations, c'est-à-dire une ligne téléphonique basique, cela peut être long. Dans ce cas, il faut surtout garder patience. Par exemple, en Éthiopie en 2006, il me fallait compter, souvent, une heure de connexion pour avoir un premier aperçu d'une zone. La fiche 9 vous propose un mode d'accès au Serveur Google Earth à l'aide de l'éditeur graphique Savedit.

Pour déterminer utilement votre zone d'intérêt, pensez votre périmètre pour qu'il soit bien largement

inclusif de tous les groupements thématiques des objets que vous désirez cartographier car vous aurez toujours besoin, presque dans le même moment, d'une vision des détails (les bâtiments, les arbres isolés, les plaques d'égouts) et d'une vision d'ensemble (l'environnement agricole, le relief, les pentes, les bassins versants).

3 - Choisir puis acquérir les données géographiques adaptées à votre projet de cartographie

Les fiches 5 et 6 vous présentent comment récupérer des cartes, schémas ou plans déjà existants. La récupération des données anciennes est en effet une source d'information et un outil à ne surtout pas négliger.

Les fiches 7, 8 et 9 vous aideront à trouver où chercher, comment consulter les sites, quelle image sélectionner et comment l'acquérir au moindre coût possible, parmi toutes les images qui sont « disponibles », c'est-à-dire qui existent dans les catalogues des fournisseurs. Aidez-vous d'un tableau synoptique où vous les classerez d'après la résolution et les dates. Ne pas négliger les images anciennes car elles vous permettront une analyse dynamique.

La fiche 10 vous renseigne sur les sources de données d'altitude et les descriptions du relief disponibles.

De façon générale, il est plus efficace et moins coûteux, en argent comme en temps, de commencer à concevoir votre base de données cartographique à partir de données déjà disponibles. Mieux vaut ne jamais attendre un accès à des sources plus récentes mais pas rapidement accessibles. L'ancienneté d'une source introduit certes le défaut d'un travail potentiel d'actualisation ultérieure mais présente l'avantage souvent double d'un accès très facile et souvent totalement gratuit... Enfin, l'occupation des espaces géographiques évolue toujours mais même en ville où les changements sont rapides, une majorité des maisons construites perdurent sur des périodes décennales... Il suffit donc généralement d'ajouter les nouvelles constructions sur la carte déjà ancienne pour l'actualiser (voir la fiche 28 pour le détail d'une procédure d'actualisation de la carte).

4 - Utiliser l'outil GPS pour géoréférencer facilement les sources de données acquises

L'étape de géoréférencement est d'autant plus importante que vous aurez diversifié les sources de données géographiques. C'est elle qui va vous garantir la qualité et donc une exploitation ultérieure efficace de

vos données géographiques ou votre base de données cartographique. L'utilisation d'un GPS pour lever sur le terrain des traces de coordonnées géographiques plutôt que des points isolés est la meilleure solution trouvée pour un géoréférencement rapide, robuste et réussi. La fiche 11 vous introduit au fonctionnement du système GPS. La fiche 12 vous présente des exemples des limites présentes sur le Géoportail de l'IGN comme sur Google Earth, pour le géoréférencement commun des données géographiques issues de différentes sources. La fiche 13 décrit l'outil de géoréférencement préféré – la méthode de recalage par tessellation* à l'origine mise au point pour rectifier les images satellitaires – et le rôle central qu'y jouent les amers, ces « lieux remarquables » qu'il vous faudra donc repérer à la fois sur l'image à recaler et sur votre géoréférence (carte, image ou relevé GPS). Il s'agit de choisir des objets bien définis aussi bien sur l'image que sur le terrain. Par exemple, un arbre isolé, une maison isolée. Consulter la fiche 8 pour éviter les pièges des ombres et hauteurs.

La fiche 14 expose tous les détails pratiques d'une méthode de relevé GPS au sol par traces de points qui vous aidera à déterminer avec soin des « lieux remarquables » qui serviront d'amers. Pour vous assurer du meilleur géoréférencement possible, faites toujours un croquis ou un tracé schématique préalable de votre parcours. La fiche 15 explicite les données à collecter et leur forme pour une intégration facile dans la base. La fiche 16 vous aide à choisir votre GPS et les fiches 17 et 18 précisent les procédures pour géoréférencer respectivement carte et image.

5 - Extraire les données utiles et les intégrer à la base de données cartographique

Recourir selon les sources de données et les objets à intégrer aux fiches 19 à 26.

6 - Ne pas oublier de décrire le schéma de la base et de rédiger le dictionnaire des données

La fiche 27 synthétise la conception de cet élément indispensable sachant que dans la pratique il s'élabore tout au long du travail : d'une part, vous déterminez le schéma de la base en amont, au moment où vous réfléchissez à la conception de votre cartographie (la première étape de la démarche) ; d'autre part, à chaque création et intégration d'une nouvelle donnée, vous introduisez sa description dans le dictionnaire.

(Séquence vidéo *Schéma d'une base de données géographiques*)

Modélisation des objets géographiques

Le modèle ici utilisé est celui des collections d'objets en mode topologique sous forme relationnelle.

Chaque collection est composée d'objets indépendants.

Leur appartenance à une même collection repose sur le partage d'attributs communs.

La mise en relation d'une collection avec une autre se fait uniquement par la localisation de leurs objets respectifs dans l'espace géographique. Telle maison appartiendra à telle commune car sa localisation géographique se trouve à l'intérieur du périmètre communal. La relation entre cette maison et telle rue s'établira sur l'existence d'une proximité géographique ou bien parce que cette rue participe à l'accessibilité géographique de cette maison.

Cette façon de concevoir la structure de l'information est directement issue d'un héritage propre au contexte IRD : le logiciel SIG Savane*, première version de SavGIS), a été conçu à partir de ce modèle relationnel des données. À cette époque aucun SIG n'était encore commercialisé, nous avons conservé une préférence pour ce modèle.

Notre but est de cartographier l'essentiel du tissu urbain de notre ville. Ce « tissu » est composé de divers objets fonctionnels spatialement répartis. Il ne s'agit pas de dessiner par un figuré unique et au fur et à mesure, tous les objets que nous pouvons reconnaître sur une image. Il s'agit plutôt de modéliser la « réalité », c'est-à-dire de d'abord définir et ensuite de représenter ces groupes d'objets par une

forme de tracé spécifiquement associée aux objets de chaque groupe. Autrement dit, il s'agit de construire une légende en ne retenant que ce qui nous semble utile à cartographier pour décrire notre ville. Cette description a pour but de nous permettre, plus tard, de répondre à des questions qui pourront être de natures diverses : études, gestion, planification, etc. Si certains objets auront une utilité pour différentes questions, d'autres seront spécifiques à une question. Nous allons utiliser un SIG et nous allons pour cela créer notre modèle basé sur la définition de collections d'objets de même type. Les objets d'une même collection sont décrits par un même jeu d'attributs, c'est-à-dire de caractéristiques numériques ou fonctionnelles communes.

Les collections pourront être de trois types géographiques différents : ponctuel, linéaire ou zonal. On commence par regarder l'image dont on dispose, c'est-à-dire que l'on fait une photo-interprétation libre, rapide qui consiste à identifier des objets ou des phénomènes, leur trouver un nom générique, identifier les caractéristiques qui les décrivent. À partir de cette première photo-interprétation, on construit alors le schéma de ses données : nom pour chaque collection d'objets, liste des attributs utiles, description de ses modalités pour chaque attribut. Notons que dans presque tous les SIG (et SavGIS, en particulier) les attributs de localisation sont implicites ; c'est le système qui les gère pour vous de façon transparente.

Collection d'objets : pylônes électriques, type point

Identifiant	Emprise au sol (m ²)	Hauteur	Matériau	Tension réseau	...
0001	10	40		haute tension	
0002	25	40		basse tension	
0003	30	50			
0004	25	40			

Les objets « point » ont une position mais, *a priori*, pas de longueur ni de surface. Il est possible d'attacher, pour chaque point, un attribut décrivant une hauteur que l'on pourra estimer d'après la longueur de l'ombre portée.

Il sera possible par la suite de rajouter en attribut descriptif et pour chaque objet « point », chaque pylône, sa

superficie ou son emprise au sol, pour peu qu'elle ait été mesurée et collectée sur le terrain. Cette superficie est alors sans rapport avec une superficie calculée à l'intérieur du SIG puisque, comme nous venons de le dire, un point n'a pas, par définition, de superficie. Nous pouvons noter que la « surface » la plus utile est plutôt le périmètre surplombé par la ligne électrique

Une cartographie simple et fonctionnelle

et dont la largeur est déterminée par les portants des câbles. Doit-on immédiatement déterminer une collection d'objets « lignes électriques » ? Il nous semble qu'il vaut mieux commencer le schéma de façon simple quitte à complexifier par la suite. Les caractéristiques de la ligne électrique peuvent toutes être déduites de celles du pylône, jusqu'à son tracé qui peut être déterminé par l'ensemble des pylônes. Par contre, l'inverse n'est pas vrai : on ne peut pas déduire des caractéristiques d'une ligne électrique celle de chacun des pylônes qui la soutiennent. Dans ces conditions et dans un premier temps, mieux vaut retenir l'objet pylône dans la modélisation et intro-

duire en attribut descriptif son appartenance à telle ligne électrique avec les caractéristiques de la ligne (voltage, haute ou basse tension...).

La démarche de modélisation des objets urbains ou ruraux retient généralement d'abord la fonction de l'objet et ignore souvent les spécificités matérielles de son apparence : par exemple, le modèle de la fonction résidence urbaine peut être une collection où les objets sont des maisons dont la description générique très simple (un toit et des murs) s'avère le plus souvent très efficace bien qu'elle néglige les nombreuses variantes de couleur, de taille, de forme et de matériau.

Collection d'objets : portion de rue, type ligne

Identifiant	Nom	Largeur (m)	Revêtement	Bas-côté 1	Bas-côté 2	Trottoir 1	Trottoir 2	...
0001	Rue Bernard	10	pavés	2 m	3 m	1 m	1 m	
0002	Rue François	25	asphalte	3 m	1 m	1 m	1 m	
0003	Rue Tania	53	asphalte	1 m	1 m	3 m	1 m	
0004	Rue Chat	8	gravier	1 m	1 m	2 m	3 m	

Les objets rues sont généralement représentés sur une carte par un double trait. Pour nous, le figuré n'est pas une donnée à définir nécessairement au préalable mais un choix ouvert et à faire au moment de l'impression de la carte. La partie « dessin » est ainsi reportée à un moment futur, distinct de celui de la saisie et de l'intégration des objets (urbains) dans la base. Ceci vous laisse libre de tous les choix de représentation. En effet, le figuré adapté dépend d'un faisceau d'éléments imprévisibles au moment de la saisie – des attributs que l'on choisira pour qualifier l'objet que l'on veut montrer sur la carte, mais aussi de la date des données dessinées, de l'échelle, etc.

Au moment de la modélisation et de la définition des objets et de leurs attributs, nous avons surtout à nous préoccuper de définir ce qui va les caractériser. Par exemple pour une rue, l'objet élémentaire à modéliser est plutôt la portion de rue située entre deux intersections et caractérisée par : sa largeur, la nature de son revêtement, son nom, la présence de bas-côtés ou de trottoirs, etc.

Les objets « ligne » ont une position et une longueur mais *a priori* pas de surface. Il sera possible par la suite de calculer des superficies en multipliant la longueur par la largeur, si l'on a pu attribuer une largeur pour chaque segment.

Collection d'objets : bâtiment, type zone

Identifiant	Propriétaire	Fonction	Toiture	Nombre de niveaux	Matériau murs
0045	Dupont	Résidence	Zinc	1	Parpaing		
0044	Durand	Industrie	Tuile canal	2	Brique		
0046	Dupond	Piscine	NA	NA	NA		

NA : signifie qu'il n'y a pas d'obligation de renseigner chaque objet, il peut arriver que pour un objet il n'y ait pas de valeur pour un attribut.

Les objets bâtiments vont être définis comme des zones.

Les objets de type « zone » ont un périmètre et une surface. Dans une même collection deux objets différents

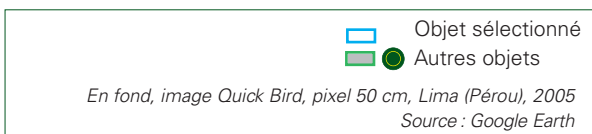
ne peuvent ni être au même endroit géographique, ni se superposer ou se recouvrir partiellement.

Dans le tableau de la collection, l'ordre des objets n'a aucune importance.

Affichage d'une image et tracé de bâtiments sous le module d'édition d'un SIG

Pour chaque collection d'objets nous devons respecter :

- un identifiant unique par objet,
- quelques règles topologiques, c'est-à-dire les relations géométriques entre objets d'une même collection (fiches 19 à 22),
- la construction du dictionnaire (souvent appelé « métadonnées »).



Par quoi commencer ?

Par la construction d'une liste d'objets à la fois nécessaires et effectivement disponibles. En effet, certaines données seraient bien souhaitables mais ne s'avèrent pas rapidement accessibles. Pour exemple, il est toujours bien utile d'avoir des données sur le système d'assainissement mais cela n'est pas visible sur la photographie aérienne ou l'image satellite.

Cela peut en outre demander un long travail de collecte sur le terrain dans des villes où justement la cartographie fine n'a pas accompagné la mise en place des équipements.

Il vaut donc beaucoup mieux se concentrer sur ce qui est immédiatement visible et disponible sur les images et les cartes existantes.

Ces objets sont listés ci-dessous.

Liste des premiers objets géographiques urbains à saisir et pour lesquels l'information est généralement facilement accessible

- les entités administratives : communes, arrondissements, secteurs urbains (kébéélé dans le cas éthiopien) ;
- la voirie ;
- les îlots ;
- les bâtiments.

On remarquera que cette liste ne comprend pas les parcelles. Ceci parce que la délimitation des « parcelles » n'est pas forcément possible sans un important travail de terrain. Cependant, quand celle-ci est possible ou que le tracé parcellaire existe déjà, il est très utile d'inclure les parcelles dans la liste des premiers objets urbains.

- les cours ou plans d'eau ;
- les ponts ;
- les lignes électriques à haute tension ;
- l'altitude (soit sous forme raster, soit sous forme de courbes de niveau) ;
- la végétation (soit sous forme de points pour les arbres isolés, soit sous forme de zone) ;
- l'occupation agricole.



Ce film de fiction a pour cadre la ville de Naples au début des années 1960 : Eduardo Nottola est entrepreneur et aussi conseiller municipal. Il réussit à convaincre le maire et ses amis politiques de l'aider dans un projet d'urbanisation. Ébranlé par les travaux, un immeuble vétuste d'un quartier populaire s'effondre, provoquant ainsi la mort de deux personnes. Une enquête est ouverte.

Un point important bloque l'avancée de l'enquête : l'unique cartographie disponible ne permet pas de démontrer si oui ou non il existait bien 2 murs différents, s'ils étaient alors jointifs ou non, ou bien si un seul mur existait entre les deux constructions. Pourquoi ? parce que la précision de la carte n'est pas suffisante : le trait simple tracé correspond à une unité de 5 m d'épaisseur, soit une largeur pouvant comprendre certes un seul mur mais aussi deux murs de 2 m d'épaisseur séparés par 1 m d'espace. La justice est bloquée faute d'une précision cartographique suffisante...

(Séquence vidéo : *L'échelle sur le Géoportail de l'IGN*)

Fiche 2 L'échelle

L'échelle, notée comme un rapport numérique, est une notion utile pour la représentation graphique dont il vaut mieux s'abstraire lorsque l'on construit la base de données au profit des notions de niveau sémantique et de précision géométrique.

Lorsque l'on parle de cartographie, on pense immédiatement à l'échelle de la carte. De fait, dans le commerce, on désigne souvent les cartes et les plans par leur échelle. On achète une carte Michelin* au 1 : 100 000 ou un plan de ville au 1 : 2 000. À l'origine, l'échelle est un rapport entre la taille réelle de l'objet géographique et sa représentation dessinée sur le papier. Si je représente sur le papier la piste d'un aérodrome qui a une longueur de 1 km (soit 1 000 m) par le dessin d'un trait de 10 cm (soit 0,1 m), c'est que je travaille à une échelle de $1\,000/0,1\text{ m} = 10\,000$; on dit que l'échelle est au 1 : 10 000. Si le trait que je dessine fait 1 cm, je dis que l'échelle est de 1 : 100 000. L'utilisation du rapport de taille entre l'objet dessiné sur la carte papier et la taille de celui-ci dans le monde dit « réel » vient d'une contrainte technique autrefois incontournable en cartographie : travailler sur un morceau de papier déterminait de fait la finesse de l'échelle à la taille du plus petit objet que l'on pouvait représenter visible par un œil humain sans loupe (une illustration amusante est donnée dans le film *Main basse sur la ville*). Les cartographes anciens savaient bien que cette contrainte déterminait leur choix de l'échelle de la carte et non ce rapport *a priori* entre taille réelle et taille dessinée. L'échelle choisie déterminait la précision de la carte car il n'était guère possible de tracer un trait avec une précision de plus de 0,1 mm. Le 1 : 50 000 correspond à une précision de 10 m, en théorie cela correspond même à une précision de 5 m, mais cela demande d'admettre que ce que l'on dessine d'un trait de 0,1 mm d'épaisseur est lisible. L'avènement de la DAO (dessin assisté par ordinateur) c'est-à-dire de la cartographie numérique, a tendance à gommer la notion d'échelle. En effet, la définition classique n'a plus beaucoup de sens lorsque l'on se connecte à Google Earth, sachant que l'on peut y « zoomer » presque sans aucune limitation numérique vers l'infiniment petit comme l'infiniment grand. Ainsi, sur notre écran d'ordinateur l'échelle affichée n'est jamais numérique ; elle est seulement graphique. Le rap-

port entre la distance mesurée sur l'écran et celle que l'on peut mesurer sur le sol ne rend pas compte des concepts implicites qui accompagnaient la notion d'échelle sur les cartes papier. L'échelle peut ainsi qualifier *a priori* le niveau de précision de la carte. Elle définit alors la taille minimum des objets pouvant être représentés. En deçà, les petits objets sont, soit exclus de la représentation (simplification), soit regroupés, agrégés, pour en former de plus gros, représentables (généralisation). C'est cette démarche qui a conduit à la production de cartes d'échelle standard, en France par l'IGN, au 1 : 100 000, au 1 : 50 000, et au 1 : 25 000 par exemple. À chaque « cran », la précision linéaire est divisée par deux, et la précision surfacique par quatre.

« Cette pratique de l'échelle est, on s'en doute, largement normative. En France, elle a produit une sédimentation cartographique, source d'un habitus géographique qui affecta plusieurs générations de géographes n'ayant appris à voir et à comprendre le monde qu'à certaines échelles, imposées par les outils qu'ils avaient choisis (et sur lesquels ils avaient du reste peu de prise). Si ces tableaux normés de l'espace avaient une certaine pertinence dans un monde caractérisé par peu de mobilité et peu de télécommunication, dans lequel les vitesses de déplacement des objets et de transmission de l'information n'accusaient pas de différentiels très importants, en bref dans le monde rural du XIX^e siècle aux structures héritées et coriaces du XVIII^e, on peut dire sans se tromper qu'ils ne cadrent plus avec un monde moderne dans lequel la rapidité comme la lenteur peuvent chacun être un luxe. » (Patrick PONCET, *La petite carte*, EspacesTemps.net, Mensuelles, 06.02.2004).

Dans la pratique l'écran de Google Earth affiche des données qui sont recueillies à des échelles très différentes. La génération de cartographes modernes de l'IGN a utilisé, pour la représentation cartographique sur le Géoportail, les normes et règles déjà existantes pour les cartographies papier de l'IGN. La présentation y tient plus compte de la signification de la taille de la donnée que dans Google Earth, au prix d'une norme plus contraignante mais plus utile pour le lecteur.

Quelle précision ?

Le Géoportail français, lui, affiche trois échelles :

- une échelle graphique : à un trait d'une longueur de 3 à 4 cm sur l'écran est associée une distance sur le terrain, en mètres ou kilomètres ;
- une échelle numérique allant du 1 : 500 au 1 : 1 000 000 avec des valeurs entières approchées. Le zoom n'est pas continu et présente des sauts qui se rapprochent des normes anciennes. Cette valeur est souvent inexacte car le système prend mal en compte la taille et la résolution de l'écran de l'utilisateur ;
- une échelle symbolique qui décrit le niveau d'utilisation de la donnée : monde, pays, département, ville, rue, maison.

Cet exemple nous montre que l'échelle est maintenant, encore plus qu'avant, une conséquence de la précision avec laquelle la donnée a été recueillie. En conséquence, les systèmes (Google ou Géoportail) choisissent de ne pas afficher une donnée recueillie avec une précision kilométrique à une échelle cor-

respondant au niveau bâtiment, alors que ce serait techniquement parfaitement possible.

Pour une représentation cartographique, l'échelle est conçue comme la taille surfacique du plus petit objet saisi. Le point ne peut être utilisé car il n'a pas de dimension. La ligne non plus car elle n'a qu'une longueur. Il est courant de représenter un point par un cercle de diamètre souvent sans rapport avec la taille de l'objet lui-même. De même, sur une carte papier, la largeur d'une route n'est pas en accord avec la largeur réelle.

Avec l'informatique et les SIG, l'échelle, c'est-à-dire la précision, ne sera pas unique. Chaque collection d'objets est associée à une précision ; les données que nous allons créer peuvent avoir des précisions différentes. Il en résulte que pour notre travail nous ne parlerons pas « d'échelle » mais de niveau sémantique (niveau régional, municipal, cadastral) et de la taille du plus petit objet qui sera saisi dans une couche déterminée.

Il y a deux sens au mot précision.

• Finesse, détail de la mesure

La qualité de la précision de la mesure dépend de l'utilisation. Votre perceuteur refusera les mesures de votre parcelle qui seraient exprimées uniquement en kilomètres car, à moins que vous soyez riche, la superficie de vos parcelles sera inférieure au kilomètre carré, soit égale à zéro dans la précision de cette unité du kilomètre. Il vous demandera donc une mesure avec au moins une précision métrique, encore qu'il aurait pu se contenter d'une précision décimétrique, car l'erreur induite, une fois traduite en hectares est très faible. Si vous donnez une mesure de précision décimétrique à un carreleur pour qu'il vous fasse un devis, il vous regardera d'un œil inquiet ; pour lui, une précision centimétrique est requise (encore qu'il pourrait se contenter d'une précision décimétrique). On voit bien que « *c'est uniquement la définition sémantique des objets qui donne la précision à laquelle on doit envisager de décrire la localisation de ces objets, puisque les SIG permettent de conserver les objets sans la notion d'échelle de restitution* » (Marc SOURIS, 2000). « *Rien*

ne sert de décrire avec trop de précision des zones alors que la validité de l'information n'y est pas assurée à cette précision » conclut-il.

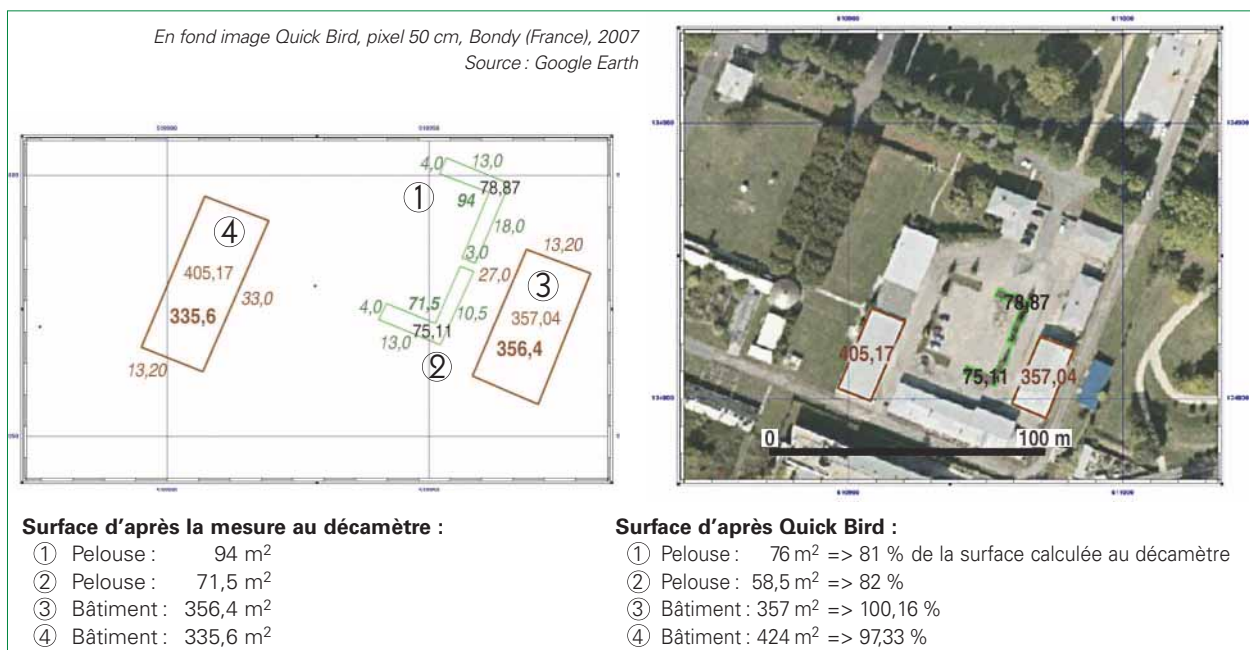
Sachant que la précision a un coût, exponentiel, il est nécessaire de déterminer avec quelle précision on va saisir chaque collection d'objets, kilomètres, centimètres, angström ? Ces trois différentes précisions correspondent à la modélisation de trois mondes différents.

La précision de nos mesures va être induite par l'utilisation de l'objet mesuré. On peut estimer utile d'avoir une précision décimétrique lorsqu'il s'agit de décrire, mesurer, un bâtiment. Cette précision est sans doute totalement inutile et donc néfaste parce que coûteuse quand il s'agit de décrire le territoire d'une commune.

Mais dans le même temps cette précision est induite par les outils de mesure. Digitaliser un objet avec une précision décimétrique n'a pas de sens si l'on travaille avec des images de Thematic Mapper* dont chaque point est un pixel de 15 m sur 15. Par contre, d'autres satellites nous donnent maintenant des images avec des pixels de 50 cm, voire moins ; pour celles-ci une précision décimétrique sera valide.

Comparaison des longueurs et surfaces entre un levé avec un décimètre et un tracé sur une image dans un SIG

En fond image Quick Bird, pixel 50 cm, Bondy (France), 2007
Source : Google Earth



Quelle précision ?

Le coût de la précision est déterminé par trois paramètres :

- le coût des images (photos aériennes ou satellitaires) de 0 à 30 euros du kilomètre carré ;
- le coût des récepteurs GPS, de 250 à 10 000 euros ;
- le coût du temps passé : 4 hommes/mois.

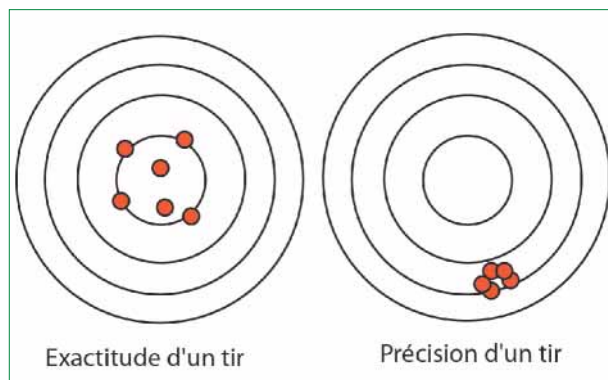
Coût habituel de l'établissement d'une carte de ville de 50 000 habitants au 1 : 2 000 = 400 000 euros.

Pour ce manuel, une précision décimétrique et quelquefois, métrique a été choisie pour décrire la ville.

- Une deuxième acception souvent implicite est **la justesse de la mesure, au sens de l'exactitude du positionnement**.



La précision de la mesure ne donne pas l'exactitude du positionnement



Source : Departamento de Física Matematica y Fluidos - Laboratorio MAI - UNED

La précision de la mesure peut influencer le pourcentage d'erreur de la mesure de la taille d'un objet. C'est ainsi que l'on dit qu'Ératosthène, (III^e siècle av. J.-C.) avait estimé, par mesure, la circonférence de la terre à 39 375 km et que cette évaluation est d'une très bonne précision par rapport à la mesure actuelle : 40 075,02 km. L'écart, autrement dit l'erreur de précision, était donc de moins de 2 %. C'est très approximatif puisque l'on ne connaît pas la valeur de l'étalon de mesure qu'utilisait Ératosthène pour mesurer la distance entre Syène et Alexandrie, base de ses calculs.

Ainsi, le terme *précision* est souvent employé, à tort, comme synonyme d'exactitude du positionnement. Nous pouvons rencontrer trois sources d'erreurs principales quant à l'exactitude de la localisation finale.

1 - Travailler dans un système de coordonnées locales sans liaison avec un système géodésique reconnu et décrit.

Voici un cas classique, encore aujourd'hui : nous avons donc choisi la précision quasi maximale et avons mesuré notre bâtiment avec un décimètre à

ruban. Nous avons fait des relevés angulaires. Parfait ! Nous avons une très grande précision, avec une erreur de l'ordre de moins de 2 % sur la surface totale de ce bâti. En un mois nous avons ainsi levé une centaine de bâtiments que nous avons reporté sur un plan au 1 : 500. Mais où sommes-nous exactement ? Malgré une grande attention à suivre les méthodes de triangulation, nous sommes totalement incapables de raccorder notre travail à celui d'autres opérateurs. Les coordonnées que nous avons indiquées sur la carte ne sont d'aucune utilité puisqu'elles n'ont de valeur que dans le cadre de nos mesures, de notre propre carte. Aujourd'hui, n'importe quel touriste dira : votre plan est faux ! Sans même regarder toutes les précautions que vous avez prises à propos de la propagation des erreurs. Il en est ainsi pour des cartes levées, surtout aux grandes échelles, par des cabinets de géomètres qui ne pouvaient pas, faute de temps et de budget, raccorder, ne serait-ce qu'un point de la zone, à un système géodésique reconnu et décrit. Avant la vulgarisation des GPS, vous aviez donc une forte probabilité d'avoir une mesure avec une précision de 10 cm sans pouvoir la positionner (voir la fiche 6).

Actuellement le GPS (Global Positioning System) permet de se positionner très correctement. Les valeurs des mesures sur le même point ont une précision du dixième de seconde.

Etrex[★] : longitude : 2° 29' 08,3", latitude : 48° 54' 49,1".

Sur Google Earth : 2° 29' 08,22" ; 48° 54' 49,07".

La différence est de l'ordre de 2 m.

2 - Vérifier le système géodésique de travail utilisé.

Sinon, on peut avoir des erreurs de 300 m dans le positionnement général... voire beaucoup plus et on risque de se retrouver alors dans la position des Dupond(t) faisant le point au sextant sur le pont du bateau parti à la recherche du trésor de Rakam le Rouge, en pleine mer, et auxquels le capitaine Haddock dit : « Découvrez-vous, Messieurs, nous sommes dans la cathédrale St Pierre de Rome » !... (voir la fiche 3).

3 - Ne pas tenir compte de l'obliquité de la prise de vue.

Cela peut induire des déplacements apparents pour les objets présentant une forte élévation (château d'eau, tours, aiguilles rocheuses) qui peuvent atteindre plusieurs mètres (voir la fiche 19).

(Séquence vidéo *SavGIS* **Changer de datum
Passer de WGS84 au
système géodésique éthiopien**)

Les systèmes géodésiques

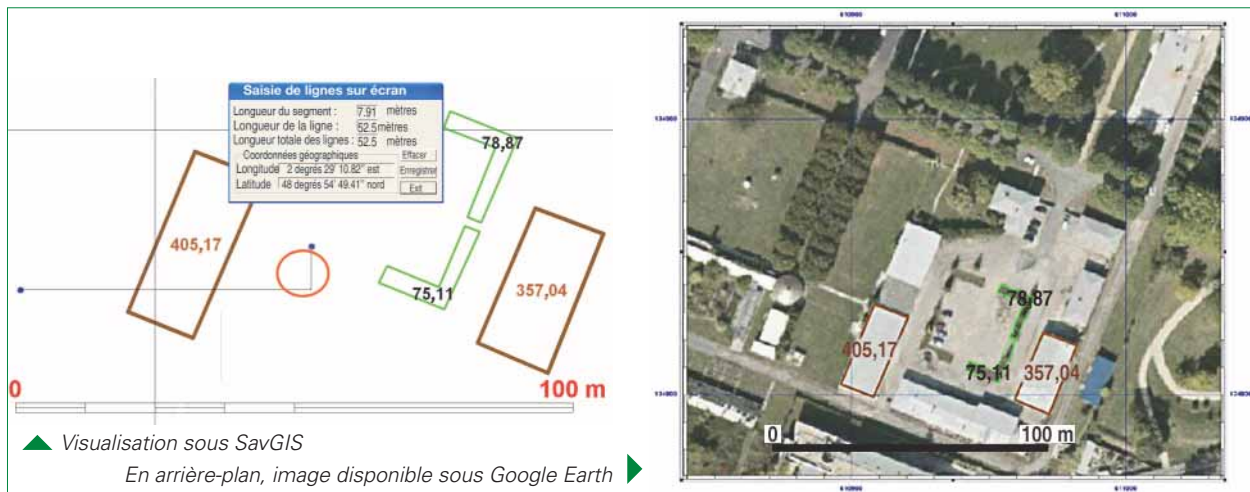
Notre méthode de cartographie repose grandement sur l'utilisation de récepteurs dits « GPS » qui nous donnent des localisations géographiques.

Effectuons un levé GPS du centre du rond du bassin au sud-est de la cour de l'IRD de Bondy. Nous pouvons lire : longitude : 2° 29' 08,3", latitude : 48° 54' 49,1".

Sur notre carte IGN, ce même point a pour longitude 2° 29' 10,88" et pour latitude 48° 54' 49".

Soit une différence de 0,1 seconde en latitude et une différence de 2,58 secondes en longitude. Après projection sur un plan en coordonnées métriques, nous avons une différence de 7,8 m en latitude et 52,6 mètres en longitude (ceci quelle que soit la méthode utilisée).

Résultats relevés GPS et coordonnées correspondantes sur la carte IGN



La même opération en Éthiopie donne des résultats différents.

Soit un point GPS : longitude 39° 32' 0" ; latitude 9° 41' 0". Sur notre carte régulière éthiopienne, ce même point a pour longitude 39° 31' 56,8" et pour latitude 9° 40' 56,42", soit une différence de 170 et 95 mètres en coordonnées projetées.

Nous voyons que les coordonnées géographiques d'un point ne sont pas absolues ; elles sont relatives à un système de référence.

Les différences observées ci-dessus proviennent du fait que nous avons affaire à trois références différentes.

Le GPS travaille avec le système nommé WGS84, la carte IGN a été conçue dans le système NTF, la carte éthiopienne est dans un système d'ellipsoïde de Clarke 80 modifié, datum Adindan Ethiopia.

Cette localisation sur une surface sphérique en mouvement va s'effectuer en utilisant des angles. On peut faire le point en utilisant une étoile ou le soleil.

• Localisation en latitude

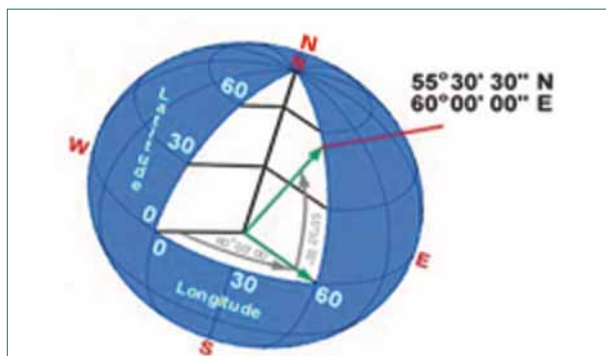
La terre offre un repère naturel presque constant :

l'axe qui passe par ses deux pôles. On définit un plan perpendiculaire à cet axe et passant par le centre de la terre qui est le plan équatorial. On détermine la latitude d'un lieu par l'angle que fait la droite reliant le centre de la terre et le point avec la droite passant du centre de la terre à l'équateur. Un point à l'équateur a une latitude de 0° ; un point au pôle a une latitude de 90°.

Dans la pratique on évaluait cet angle en mesurant la hauteur du soleil à midi un des deux jours annuels de l'équinoxe. À ce moment-là, l'axe de rotation de la terre est perpendiculaire à la direction du soleil. Il suffit de mesurer l'élévation du soleil par rapport à l'horizontale, autrement dit l'angle entre la direction du soleil et la verticale pour obtenir le degré de latitude du lieu. À partir de cette mesure des tables de hauteur du soleil en différents lieux et à différents moments de l'année ont été élaborées. Armé de ses tables de référence, on peut alors déterminer la latitude du lieu où l'on se trouve avec un simple sextant.

Quelle précision ?

Principe de localisation par latitude et longitude



• Localisation en longitude

Dans la direction perpendiculaire à l'altitude on mesure la longitude. L'origine – le méridien 0° – est aujourd'hui fixée par convention comme le plan méridien passant par l'observatoire de Greenwich. C'est une origine totalement arbitraire. On a d'ailleurs utilisé longtemps deux références différentes : le méridien de Greenwich et le méridien de Paris. Pour mesurer la longitude, il « suffit » en théorie de déterminer l'heure qu'affiche une montre réglée à l'heure de Greenwich au moment où le soleil atteint son point de culmination à la verticale du lieu. Mais la détermination précise de cette longitude demande à connaître l'heure qu'il est sur le méridien de référence de façon extrêmement précise. Ce ne fut qu'à la fin du XVIII^e siècle que les premiers chronomètres de marine donnèrent une précision suffisante pour limiter les erreurs à quelques minutes ou miles marins.

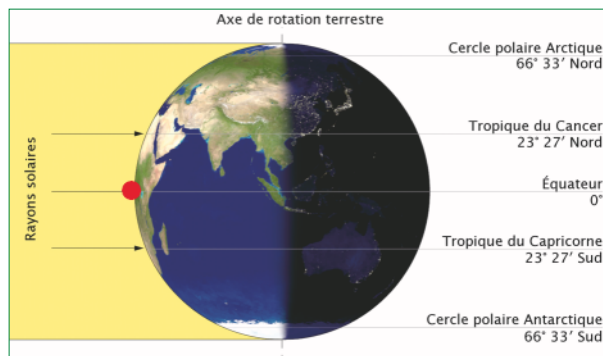
Si la terre était une sphère parfaite, il n'y aurait guère de problème, on pourrait en déterminer le centre et le rayon. Si la terre avait une densité homogène, les verticales convergeraient toutes vers le même centre. Or on a vu que c'est la verticale, donc la pesanteur qui déterminait la valeur angulaire mesurée.

Les satellites ont permis de connaître la forme de la terre avec une grande précision ; en même temps, cette meilleure connaissance permet de mieux prévoir leur orbite.

On définit aujourd'hui deux volumes différents :

Le premier est le volume gravimétrique que l'on appelle **géoïde** qui définit le niveau moyen des mers. La représentation obtenue à l'échelle du globe lorsque l'on exagère les différences d'altitude donne une forme de pomme de terre aplatie aux pôles (sans exagération rien ne serait bien sûr visualisable à cette échelle de représentation globale). La connaissance de ce géoïde est importante car le calcul de la trajectoire des satellites est réalisé à partir de ce géoïde. Inversement, plus cette trajectoire des satellites est calculée avec minutie, plus la modélisation de ce géoïde s'améliore. Le volume du géoïde correspond

Schéma de la situation terrestre un des 2 jours annuels de l'équinoxe



23° 27' Sud Coordonnée en latitude du tropique du Capricorne
● Lieu où il est exactement midi (verticale du lieu perpendiculaire à l'axe passant par les pôles)

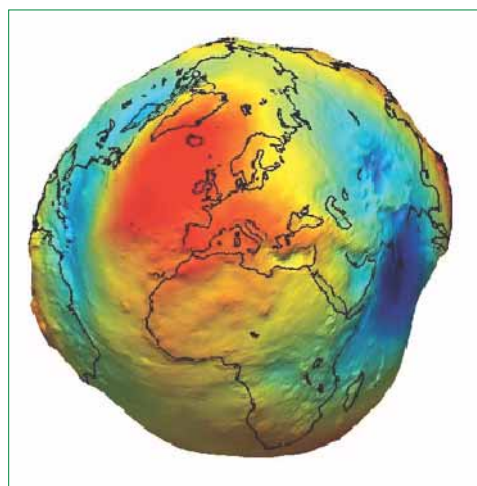
Source : *Earth-lighting-equinox-EN.png* disponible sur Commons

de fait à une représentation très proche de la réalité, mais il est peu pratique pour les besoins cartographiques car ce volume est irrégulier et les calculs qui sont réalisés avec ce modèle sont longs et compliqués.

Pour les besoins cartographiques, on utilise plutôt un modèle régulier, facilement mathématisable : un ellipsoïde.

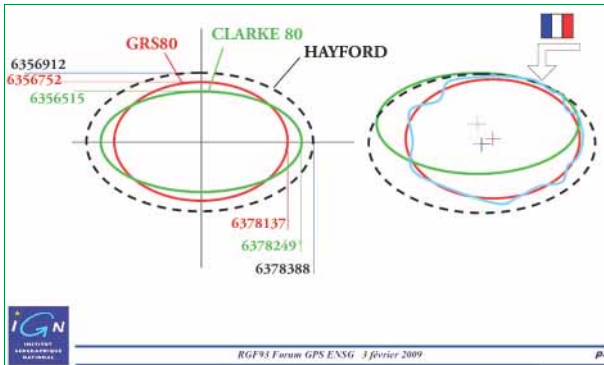
Comme l'avait prévu Newton (1687) et comme ce fut, mal, vérifié par Maupertuis et Godin (vers 1740), le diamètre selon l'axe nord/sud est plus petit que celui du cercle équatorial. Les astronomes et géophysiciens se sont lentement accordés et l'on a commencé à modéliser la forme de la terre en l'assimilant à un **ellipsoïde** (ellipsoïde de Bessel, 1841). Une telle forme est définie par la valeur d'un grand axe et d'un petit axe ; il en a été défini plus de 300 différentes. Pour un même ellipsoïde, on peut détermi-

Le géoïde terrestre, avec ses creux et ses bosses, bien sûr largement agrandis



© Esa

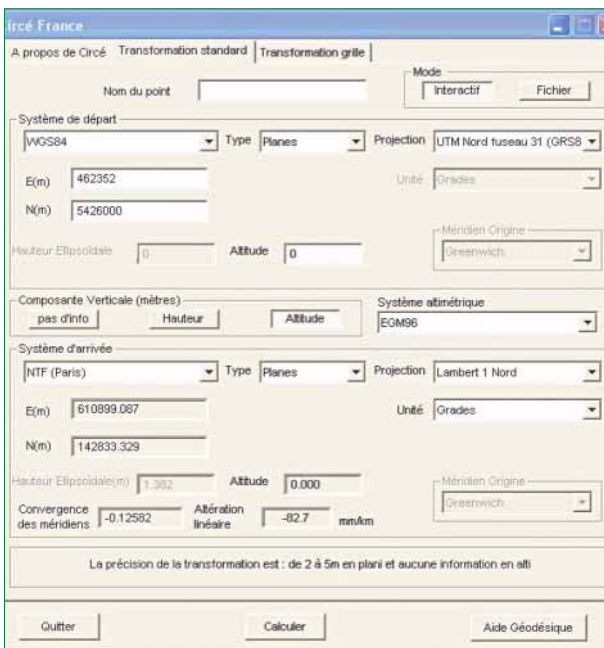
Les trois ellipsoïdes les plus usités : Hayford, GRS80, Clarke 80



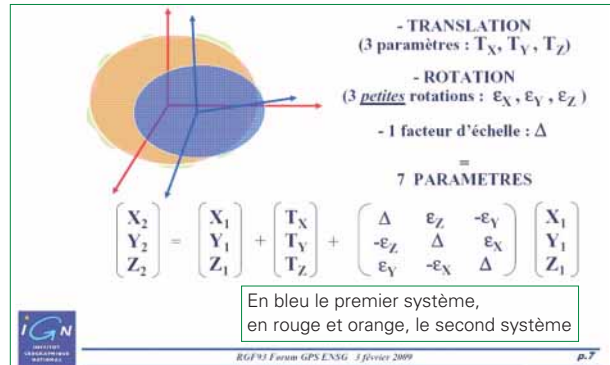
ner plusieurs systèmes en positionnant le centre différemment. Cette position est déterminée par le *datum**. L'EPSG* (European Petroleum Survey Group) référence ainsi plus de 3 000 systèmes différents. Le datum est le point de la terre (souvent désigné par un lieu-dit) pour lequel la verticale passera par le centre de l'ellipsoïde. Ces différents systèmes correspondent à la meilleure correspondance locale entre le géoïde et l'ellipsoïde utilisé. Les écarts entre géoïde et ellipsoïde du système français NTF sont donnés pour ne pas dépasser 14 cm en altitude (S. Milles et J. Lagofun). Mais, on l'a vu, les écarts angulaires entre deux systèmes peuvent atteindre 3 secondes d'arc.

« De nombreux datums ont été choisis pour ajuster au mieux l'ellipsoïde à la surface de la terre, en fonction de la courbure locale de celle-ci et de la possibilité de mesurer des positions de proche en proche. Certains datums sont définis par des conditions purement géophysiques, permettant d'approcher l'équation de l'el-

Logiciel Circé (IGN)



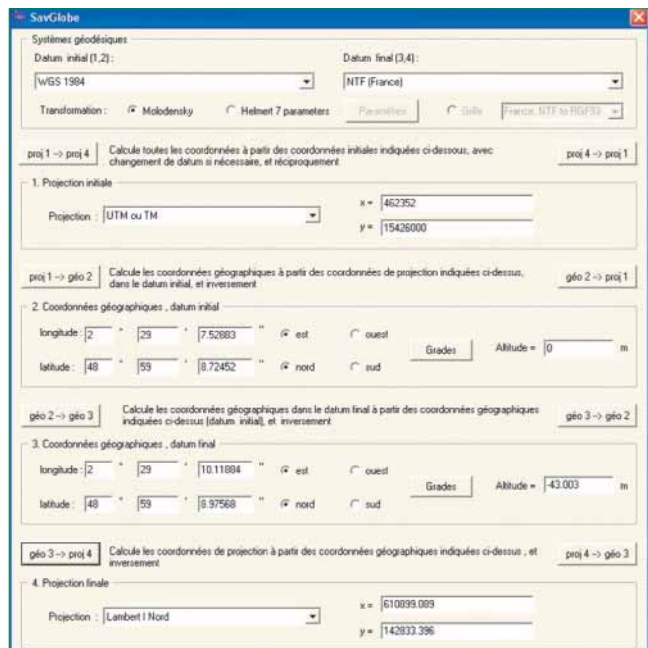
Changement de système de référence



lloïde de révolution et la position de son centre, qui correspond alors au centre des masses. Ces datums ne dépendent plus d'une condition de tangence en un point et sont utilisés pour l'ensemble de la terre (WGS84*, GRS80*, par exemple)» (M. SOURIS, 2001). En pratique, pour nous, il faut choisir dans quel système nous allons créer la base et ensuite l'utiliser. Actuellement, il n'existe pas de SIG qui puisse travailler dans le même temps avec plusieurs systèmes géodésiques. En fait, nous avons deux solutions :

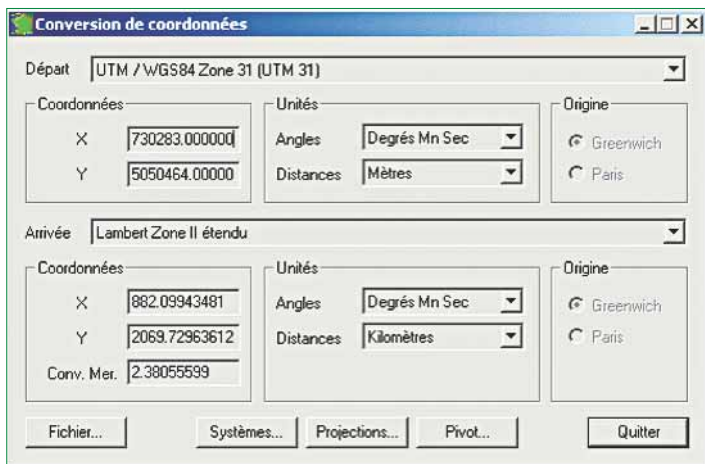
- travailler avec un système « global » comme le WGS84, établi assez récemment (en France avec le RGF93*, pratiquement équivalent). C'est évidemment la solution la plus simple ; elle permet de s'affranchir du problème de conversion des données GPS. Sur le terrain, on peut utiliser le récepteur avec la programmation par défaut ;
- soit utiliser le système national. Par exemple en Éthiopie : un ellipsoïde de Clarke 1880 modifié associé au datum Adindan Ethiopia. L'utilisation du sys-

Logiciel SavGIS (IRD)



Quelle précision ?

Changer de système géodésique avec le logiciel Convers*



tème national facilitera l'intégration des cartes existantes et la comparaison entre les données que nous allons créer et celles-ci, mais rendra l'utilisation conjointe du GPS, sur le terrain, plus délicate. Car il nous faudra effectuer la transformation de toutes les données du GPS qui sont nativement dans le système WGS84.

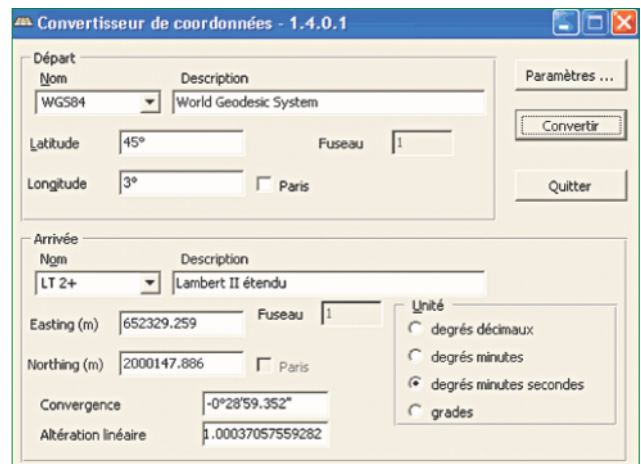
Lorsque nous avons des cartes « anciennes », il est souvent bon de les utiliser. Il faudra vérifier que les systèmes soient identiques. Sinon, il faudra les transformer. Heureusement, il y a des logiciels qui permettent d'effectuer ces calculs lourds, que ce soit pour un point ou pour un ensemble de coordonnées contenues dans un fichier.

On pourrait citer aussi le logiciel IGNmap. Cependant, celui-ci est dédié au territoire français uniquement.

Projection

Lorsque l'on a déterminé le système géodésique avec lequel on va travailler, on peut y associer une méthode de projection. Chacune des méthodes va induire des déformations. Pour une projection plane tangente, seules les portions très près du point de tangence ne donneront pas de déformations. Plus on s'éloigne

Changer de système géodésique avec le convertisseur d'Éric Sibert



de ce point plus la différence entre la longueur de l'arc et celle de sa projection va être importante.

Pour les pays proches des tropiques, on utilise classiquement une projection cylindre transverse avec laquelle seuls les segments situés sur une ligne (projection tangente) méridienne (ou deux lignes pour les projections sécantes) ne présenteront pas de déformation de l'échelle.

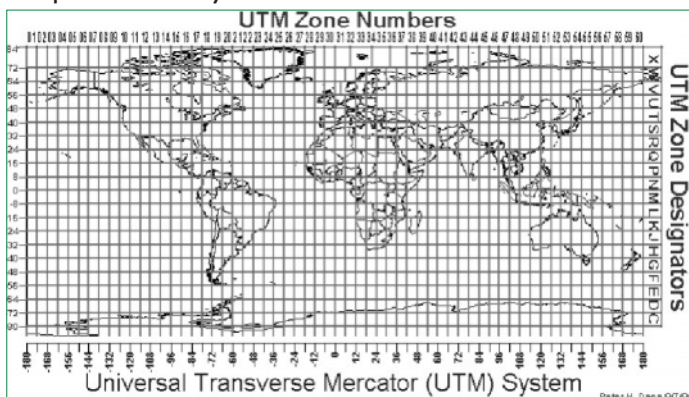
Ainsi, le facteur d'échelle au méridien central d'une projection UTM n'est pas de 1,0000 mais de 0,9996. L'échelle exacte (facteur 1) se rencontrera de part et d'autre du méridien central et redeviendra de 1,0004 au bord du fuseau UTM.

On peut bien sûr toujours choisir le méridien central comme étant celui du centre de notre territoire mais dans la pratique il vaut mieux choisir une des 60 possibilités du système UTM, U comme universel.

Dans la pratique, les SIG effectuent les projections de façon automatique, les calculs sont simples et n'induisent pas d'approximations.

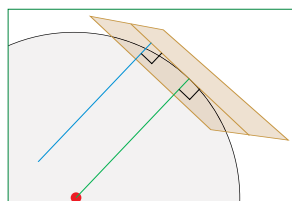
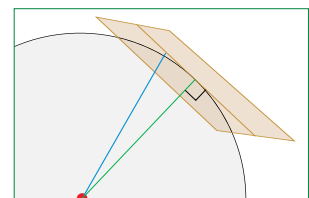
Les déformations induites en bord de zone UTM sont des valeurs égales : l'erreur d'échelle sur la bordure est de la zone 36 est égale à celle de la bordure ouest de la zone 37.

Représentation du système UTM



Deux projections azimutales

Projection plane tangente azimutale gnomonique : le centre de la projection est le centre de la terre



Projection plane tangente azimutale orthographique : le centre de la projection est reporté à l'infini

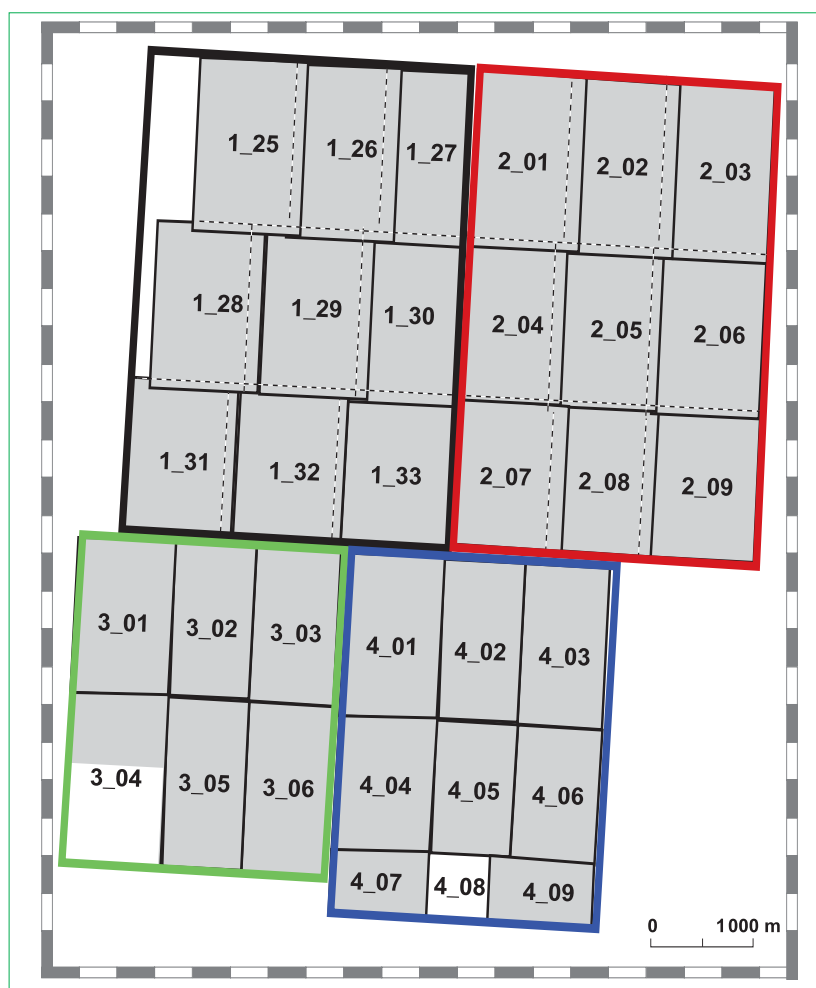
L'opération décrite ici consiste à numériser une carte imprimée sur papier à l'aide d'un scanner. Le résultat est une image (raster), c'est-à-dire une matrice de pixels que nous pourrions alors traiter informatiquement au même titre qu'une image. Les lieux qui ne sont absolument pas cartographiés sont très rares. Les cartes descriptives que l'on découvre se présentent souvent comme des documents malcommodes sur feuille de papier de grand format, de type « drap de lit », A1 ou A0. En l'absence d'un scanner grand format

à disposition, il est possible d'utiliser un scanner A4 de bureau, de scanner la carte morceau A4 par morceau A4, puis d'appliquer le recalage par tessellation (*fiche 13*) pour effectuer correctement le mosaïquage de tous les morceaux de carte. Le résultat peut même être meilleur que sur certains appareils de grand format. Il serait en effet très dommage de ne pas utiliser les données géographiques quand elles existent. Quelques règles sont à suivre pour réaliser le travail correctement.

Règles d'organisation

- Faire au préalable un **plan d'assemblage grossier** pour faciliter le mosaïquage des différents morceaux A4 de la carte originale. Les feuilles originales de taille A1 (à peu près 75 x 55) ne peuvent être scannées entièrement qu'en 9 morceaux A4.
- Conserver, lors du découpage et sur chaque morceau A4, **des zones de recouvrement** en lisière et entre les différents morceaux voisins.

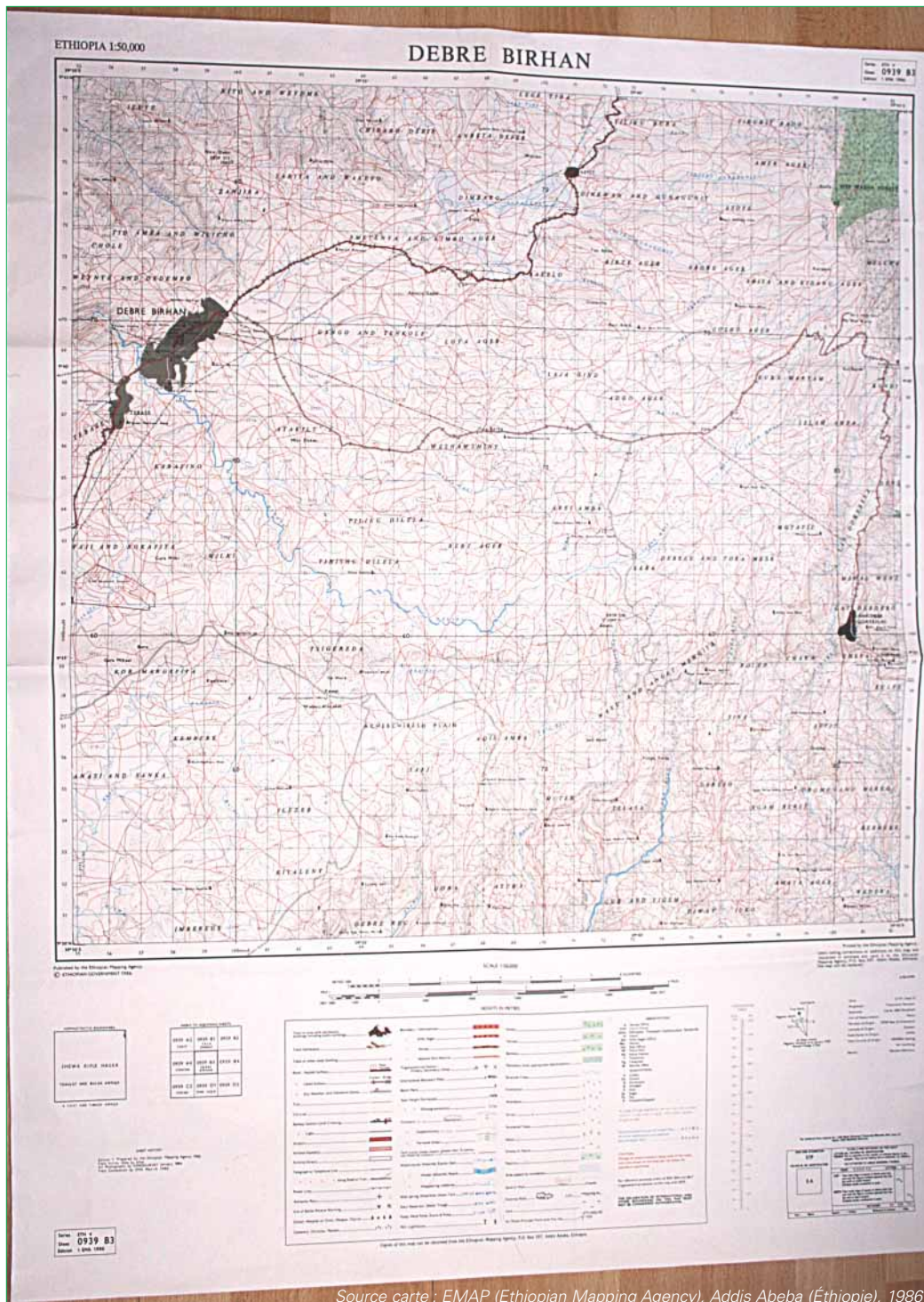
Exemple de plan de scannage pour les quatre feuilles au 1 : 2 000 de la ville de Hossaena établi pour le Fupi (Federal Urban Planning Institute) en 1998



- ■ ■ ■ Les 4 feuilles
- Portion A4 scannée
- Zone blanche : absence de données
- Zone de recouvrement entre 2 portions A4

Quelles sources de données géographiques ?

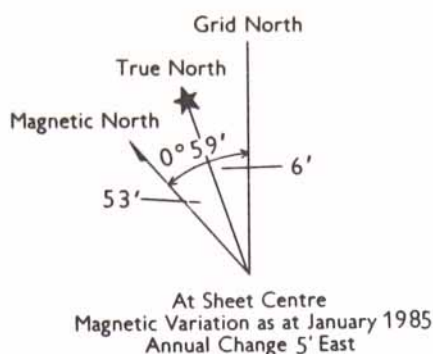
Photographie de la totalité de la carte de dimensions 70 x 99 cm (document papier original)



Source carte : EMAP (Ethiopian Mapping Agency), Addis Abeba (Éthiopie), 1986

- Par définition une carte géographique comporte toujours des coordonnées exprimées dans un système géodésique (sinon il s'agit d'un plan ou d'un schéma). Ce système géodésique est décrit littéralement sur la carte. Il est très important de bien **recupérer toute l'information de ce géoréférencement**.
- Bien vérifier que **les coordonnées** situées aux bords de chaque carte ont bien été **incluses dans la zone scannée**. Ce sont ces valeurs qui sont ensuite utilisées et elles seront inaccessibles, une fois l'original papier restitué à son propriétaire.

Photographie des cartouches indispensables décrivant le système géodésique



Grid:- U.T.M. Zone 37
 Projection:- Transverse Mercator
 Spheroid:- Clarke 1880 (Modified)
 Unit of Measurement:- Metre
 Meridian of Origin:- 39°00' East of Greenwich
 Latitude of Origin:- Equator
 Scale Factor at Origin:- 0.9996
 False Co-ords of Origin:- 500,000m Easting
 Nil Northing
 Datum:- Adindan(30th Arc)

The numbered lines indicate the 1,000 Metre Universal Transverse Mercator Grid, Zone 37, Clarke 1880 (Modified) Spheroid.

<p>GRID ZONE DESIGNATION 37P 100,000 M. SQ. IDENTIFICATION</p> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 100px; margin: 10px auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <p>EA</p> </div>	<p>TO GIVE A GRID REFERENCE ON THIS SHEET LETTERS See 100,000m SQ. IDENTIFICATION FIGURES Pay no attention to the smaller co-ordinate figures in the margins. They are for finding full co-ordinates: viz 300000m PAY ATTENTION TO LARGER MARGINAL FIGURES:</p>	
	POINT	LETTERS
	<p>EAST Take west edge of square in which point lies and read the figures printed opposite this line (on north or south margin). Estimate tenths eastwards to point.</p>	<p>NORTH Take south edge of square in which point lies and read the figures printed opposite this line (on east or west margin). Estimate tenths northwards to point.</p>
	<p>REFERENCE EA 598 752</p>	
Unit Metre	Square 1.000m	Reference to nearest 100m

Source carte : EMAP (Ethiopian Mapping Agency), Addis Abeba (Éthiopie), 1986

- De la même façon, il est prudent de scanner et archiver le cartouche décrivant le système géodésique présent sur la carte. Ce serait dommage qu'une erreur d'identification de ce système faite au départ, rende ensuite définitivement inutilisable la carte scannée faute des renseignements d'origine pour la corriger.

Quelles sources de données géographiques ?

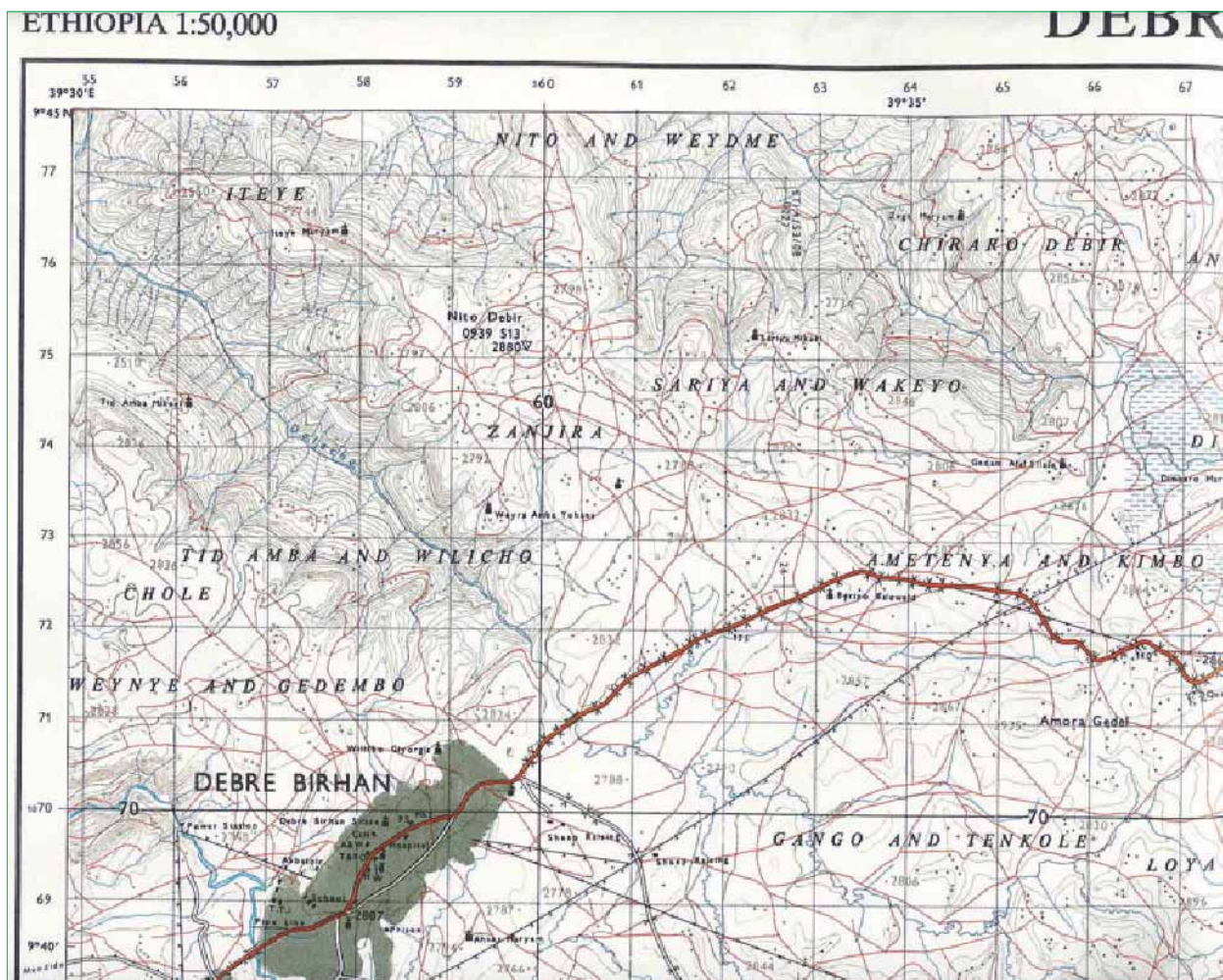
Réglages du scanner

- **Ne pas scanner trop clair** pour éviter la disparition des lignes fines (attention à la bonne lisibilité des courbes de niveau). Pour cela il faut décocher le mode complètement automatique et régler la luminosité de façon à traduire les blancs par des gris légers. Il est souvent nécessaire d'abaisser la valeur du contraste de façon à ne pas « perdre » d'information.
- Régler en noir et blanc (teinte de gris) pour les documents monochromes et en RVB (24 bits) pour les documents en couleur.
- Il n'est pas nécessaire de scanner des documents opaques avec une résolution de plus de 400 dpi.

Une résolution supérieure ne se justifie que pour les documents sur support transparent. De par sa nature, le support transparent fournit toujours une plus grande finesse et une meilleure qualité d'impression. La résolution d'une photographie aérienne imprimée sur support transparent est ainsi toujours meilleure que celle de son impression sur papier opaque.

- On peut remarquer que ce scanner a provoqué des déformations. Le quadrillage qui devrait être rectiligne est quelquefois un peu « ondulé ». Nous verrons dans la fiche 18 que ces déformations peuvent être annulées par la suite.

Le fichier scanné correspondant à une portion A4 de la carte topographique au 1 : 50 000 de la ville de Debre Birhan (Éthiopie)



Source carte : EMAP (Ethiopian Mapping Agency), Addis Abeba (Éthiopie), 1986

(Séquence vidéo)

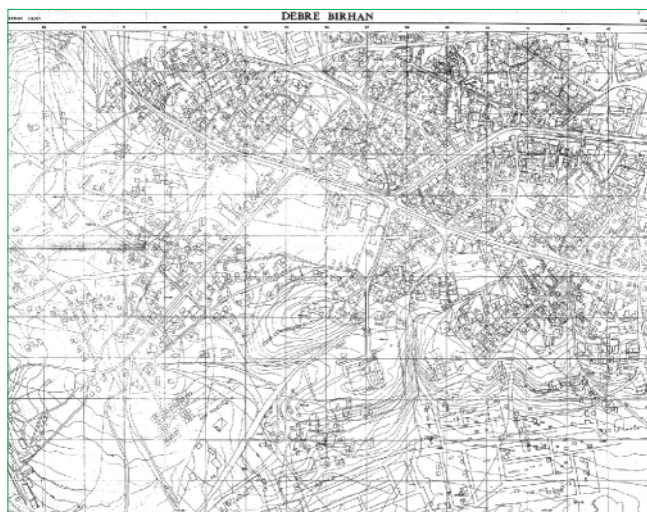
Scanner un plan ou un schéma

Un document cartographique sur lequel le système géodésique n'est pas inscrit clairement n'est pas une carte. On parlera dans ce cas de « plan » ou de « schéma ». Un plan de ville par exemple présente souvent un carroyage noté en ligne 1, 2, 3, 4... et en colonne A, B, C... Ce type de carroyage ne peut pas être utilisé directement car il n'en existe aucune correspondance, géodésique, ou sur le terrain. De même, la majorité des documents soit sur papier, soit sous un mode informatique de type Illustrator ou PDF, est à considérer comme des schémas quand il n'y a pas d'information de géoréférencement. Cela

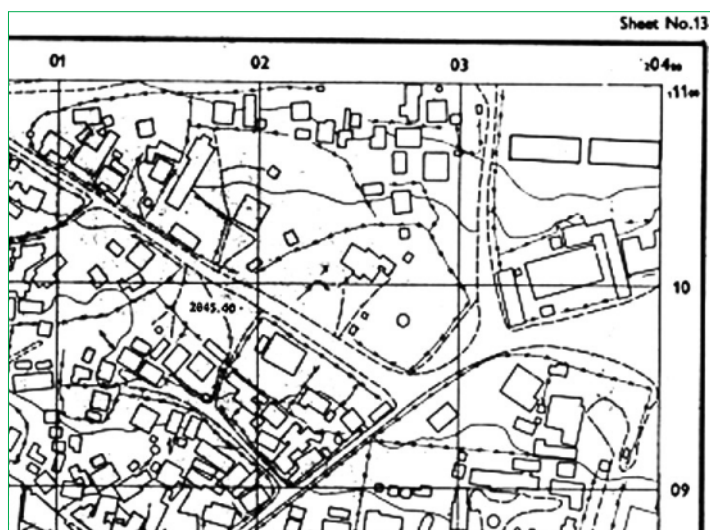
même si ces documents restituent un inventaire exhaustif des occupations et objets présents dans un espace. Ils fournissent cependant souvent une information détaillée, déjà existante et présentant un potentiel d'utilité très fort... pour peu que l'on puisse les caler géographiquement. La méthode de recalage par tessellation permet d'intégrer dans une base de données géoréférencées, les informations que ces documents de type « plan » ou « schéma » contiennent, à la précision correspondante à celle du document d'origine.

Voici un plan de Debre Birhan, levé par une entreprise privée, aujourd'hui disparue pour le compte de l'Ethiopian Mapping Authority. Il a été levé dans un système géodésique local qui n'est pas décrit. Il comporte un carroyage précis mais celui-ci s'apparente à ceux que l'on trouve sur un plan de ville dans la mesure où l'on ne peut pas raccorder les valeurs de la carte à un système géodésique international.

Levé précis de Debre Birhan (Éthiopie)



Extrait du levé ci-dessus

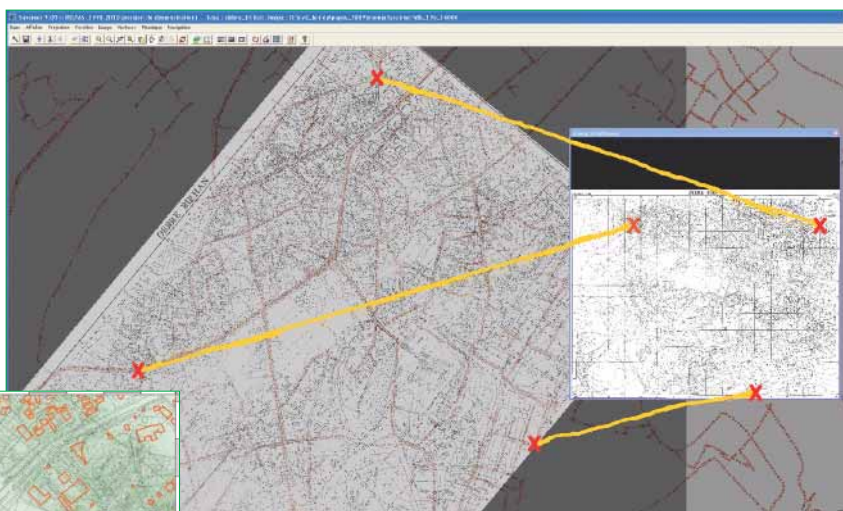


Le carroyage, en mètres, est très clairement imprimé ; mais nous ne pouvons pas le raccorder à quoi que ce soit. Nous ne savons même pas où se trouve l'origine des coordonnées x et y.

Quelles sources de données géographiques ?

Mise en correspondance de trois points de recalage repérés par similitude de formes

Nous pouvons cependant effectuer le recalage avec les traces GPS (croix rouges) que nous avons relevées.



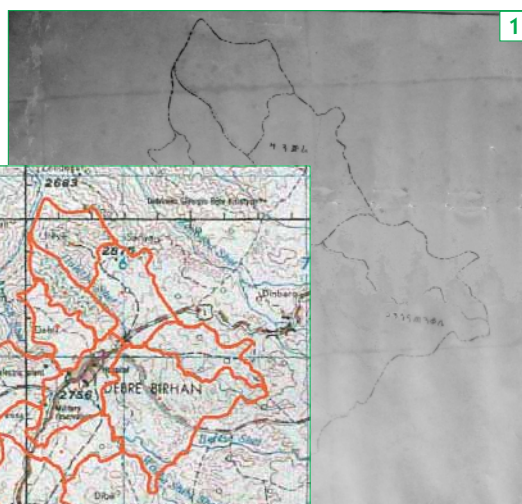
Extraction du bâti après recalage



En haut à droite est affichée la feuille scannée de la carte du FUPI sans coordonnées. À gauche est visualisée sa superposition une fois rectifiée avec les traces de levé GPS (en rouge).

L'extraction de l'état du bâti ancien (1995) est alors possible.

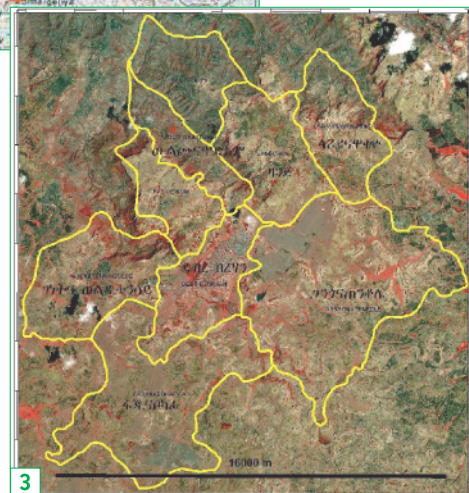
Il ne faut pas hésiter à photographier un document avec un appareil photo numérique même non professionnel. Certes le résultat est moins précis que celui produit par un scanner mais il fournit pourtant des images tout à fait exploitables. Le document (à gauche) a été accroché à un mur bien éclairé mais sans lumière directe (se méfier des reflets) de la mairie de la ville de Debre Birhan en Éthiopie, puis photographié avec un appareil photographique numérique. L'image obtenue restitue bien l'ensemble de l'information : les limites des unités administratives, appelées « kébéls ». Le document source ne comportait aucune coordonnée géographique en tant que telle. Les limites administratives pourront cependant être géographiquement recalées, géoréférencées grâce à des similarités de formes et de portions des contours avec d'autres données disponibles sur une carte heureusement munie de coordonnées géographiques.



1 - Carte des limites administratives de la ville de Debre Birhan sans aucune coordonnée géographique accessible à la municipalité

2 - Calage de ces limites sur la carte topographique au 1 : 50 000 de l'EMAP où figurent des coordonnées géographiques

3 - Superposition avec l'image satellite Aster après digitalisation



Quelles sources de données géographiques ?

(Séquences vidéo *Explorer le site DigitalGlobe*
Capturer des images avec l'API Google
Explorer le site GeoEye)

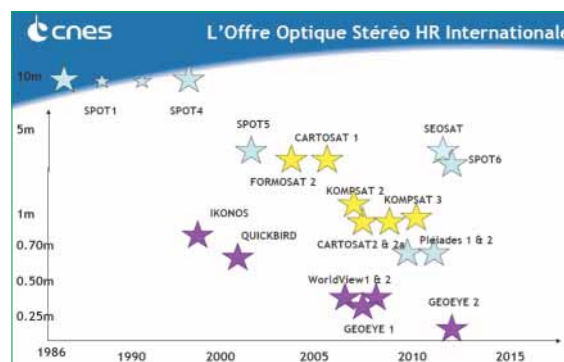
Fiche **7**

L'offre d'images à Très haute résolution spatiale (THRS)

Les satellites imageurs sont aujourd'hui très nombreux. Une bonne dizaine d'agences spatiales nationales et des opérateurs privés ont multiplié l'offre et nous ne listerons pas la totalité des systèmes. Fixons, peut-être un peu arbitrairement, notre besoin de précision au fait de pouvoir tracer les bâtiments avec une erreur sur leur surface qui soit raisonnable (10 à 20 %). Que peut-on utiliser dans ce qui est qualifié d'images à très haute résolution spatiale ?

Dans l'ordre de capacité : GeoEye 1, Quick Bird, Ikonos, Kompsat2, Resurs-DK 1. Pour le futur, après 2010 : GeoEye 2, WorldView-2, Pleiade. Nous avons exclu de cette liste les systèmes fournissant des images panchromatiques, c'est-à-dire uniquement noir et blanc, qui sont excellentes pour créer les courbes de niveaux par photogrammétrie mais beaucoup plus difficiles à exploiter par photo-interprétation.

L'offre d'images THRS d'après le CNES



Captur	Revendeur France/Europe	Dispo	Résolution	Fauchée	Prix/km2	Programme Scientifique
QuickBird 2 WorldView 1 WorldView 2	EurImage	2001 2007 2008	0.6m/2.4m 0.45m(0.5m) 0.46 / 1.84 m	16 km 16 km* 16.4 km	225 305	-
Ikonos 2 Geoeye 1 GeoEye 2	Telespazio	1999 2008 2012	0.8m pan 0.41m pan/1.64m MS 0.25m	11 km 15.2 km	205 205	-
Kompsat 2	Spot Image SA	2006	1m pan/4m MS	15 km	165	TPM
Formosat 2	Spot Image SA	2004	2m pan/8m MS	24 km	6 à 2 €/km2	- TPM en cours
Pleiades HR 1 et 2	SPOT Image SA	->2010	0.7 pan/2.8 MS	20 km	Non marchand -1.5€	ISIS TPM
Cartosat-2	ISRO	2008	1 m pan	10 km	45	-
SPOT 5 HRG HRS	Spot Image SA	2001	2.5m/10 m 5m	60 km	3 à 1 €	ISIS

Caractéristiques techniques

Produit Bundle
Satellite Kompsat
Date d'acquisition 09-01-2008
Heure d'acquisition 07:49:18
Gains -
Notation nuageuse -
Notation neigeuse -
Angle d'incidence 21.19°
Décalage de la scène le long de la trace

Informations radiométriques
 Nombre de bandes spectrales de l'imagerie : 0
 Adapt. Adapt.
 Pixels saturés Seuil min Seuil max

Localisation géographique de la scène

Imagerie brute / Imagerie adaptée

Latitude du centre 9.67°
 Longitude du centre 39.54°
 Latitude du coin NW 9.72°
 Longitude du coin NW 39.45°
 Latitude du coin NE 9.75°
 Longitude du coin NE 39.60°
 Latitude du coin SW 9.58°
 Longitude du coin SW 39.48°
 Latitude du coin SE 9.61°
 Longitude du coin SE 39.63°

Pour ces cinq types d'images on peut vérifier sur des sites web si l'on a une image de qualité de notre centre d'intérêt. On pourra y commander les images. Il nous est difficile de donner un mode d'emploi pour chacun des sites car ils changent de design régulièrement.

Ikonos et GeoEye sur le site de GeoEye. <http://geofuse.geoeye.com/landing/Default.aspx>.

Utiliser de préférence Online Maps. Signalons l'existence d'un accès gratuit par la Fondation GeoEye, <http://www.geoeye.com/CorpSite/corporate/foundation/>.

Quelles sources de données géographiques ?

Quick Bird (25 \$/km²) et WorldView-2 sur le site de DigitalGlobe, <http://www.digitalglobe.com>, cliquez sur « Find imagery ».

Kompsat-2, en attendant Pléiades, est accessible sur le site de Spot Image. Le programme du CNES, ISIS offre la possibilité d'une acquisition à très faible coût (quand l'utilisation de l'image s'inscrit dans un programme de recherche scientifique avec un partenariat français).

Resurs_DK1 est plus difficile à cerner ; il n'est pas très facile d'accéder au catalogue qui est long à consulter : http://eng.ntsomz.ru/zakaz/data_cat/catalog.

Cartosat-2 : <http://www.antrix.gov.in/main/Antrix%20Cartosat-2%20International%20Price%20List.pdf>
<http://www.nrsc.gov.in/c2coverage.html>

Formosat-2 : <http://www.spotimage.com/web/945-les-caracteristiques-des-images-formosat-2.php>
Prix indiqués sur le site.

Pour ceux qui n'ont pas 500 euros pour acheter une image, il existe d'autres possibilités, bricolées, mais tolérées.

1 Lancer SavGIS et cliquer sur le bouton « Google Earth ». Vous aurez directement l'image la plus précise du catalogue Google (généralement Quick Bird) et vous pourrez continuer votre travail dans un cadre de travail performant.

Cette solution impose de suivre le géoréférencement de la compagnie Google. Si celui-ci est assez précis pour l'Europe et les États-Unis, il l'est beaucoup moins pour des pays où Google manque de références. Pour l'Éthiopie par exemple, des écarts de 50 m sont fréquents. Cela risque d'être un réel problème car vos mesures avec le GPS seront « décalées » de la même valeur (*pour détails voir la fiche 9*).

2 Utiliser l'API Google pour télécharger les données.

– S'inscrire.

– Écrire la clé d'entrée dans le script Java (*key*=[votre clé personnelle]), modifier le point central de votre zone d'intérêt, modifier la taille en pixels de votre zone d'intérêt. Lancer le script suivant sous Internet Explorer.

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Strict//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-strict.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
<head>
<title>SavGIS et Google</title>
<script language="JavaScript" type="text/JavaScript">
<script src="http://maps.google.com/maps?file=api&v=2&key=[votre clé personnelle]" type="text/javascript">
</script>
<script type="text/javascript">
var x=36.892495;
var y=10.851218;
function load()
{
    if(GBrowserIsCompatible())
    {
        var mapCity = new GMap2(document.getElementById("map"));
        mapCity.setCenter(new GLatLng(y,x));
        mapCity.setMapType(G_SATELLITE_MAP);
        mapCity.setZoom(18);
    }
}
</script>
</head>
<body onload="load()" onunload="GUnload()">
<div id="map" style="position:absolute; width: 16000px; height: 16000px; left: 0px; top: 0px;">
</div>
</body>
</html>
```

– Utiliser une application de capture d'écran telle que Fastone capture. L'image obtenue devra être ensuite géoréférencée (*pour cela voir la fiche 13*).

(Séquence vidéo *Spécificité de la THRS*)

La spécificité des images à Très haute résolution spatiale (THRS)

• Des images très « lourdes »

La taille d'une image peut dépasser 1 gigaoctet. La taille des fichiers, pour chaque image, dépend du nombre de pixels qui la composent. Lorsque nous avons des pixels de 50 cm, l'image d'un territoire de 10 km x 10 km sera de 20 000 x 20 000 pixels, soit 400 millions pour chaque canal. Les images à très haute définition spatiale peuvent donc poser des problèmes de taille par rapport à la capacité de l'ordinateur utilisé. Auquel cas il peut être suffisant, dans un premier temps, d'utiliser des logiciels comme MultiSpec (gratuit) qui permettent de ne lire qu'une partie du fichier image.

• La fauchée* est variable mais souvent restreinte.

Les capteurs THRS que nous pouvons utiliser à l'heure actuelle ont une fauchée de l'ordre de 15 km maximum. Si notre zone d'étude fait plus de 200 km²,

il nous faudra nécessairement deux images. Auquel cas, les images disponibles ne seront pas forcément de la même date.

• **La diversité de la réponse radiométrique** pour une même catégorie d'objets est beaucoup plus forte que pour des pixels de grande taille. La précision des images fait qu'un même type d'objets peut avoir des couleurs très différentes. Il existe des voitures noires, bleues, rouges, blanches, etc. La gamme de couleur pour la toiture est presque aussi grande. Un même toit aura une couleur et une valeur très différentes suivant son orientation. Une approche par la radiométrie multispectrale devient donc un casse-tête. C'est pour cela que nous privilégions la photo-interprétation : l'œil « reconnaît » un toit ou une voiture quelle que soit sa couleur en s'appuyant sur sa forme et le contexte local.

Cette image GeoEye de Mexico nous montre des toitures de presque toutes les couleurs. On peut voir aussi que les pixels d'un même arbre ont des valeurs très différentes selon qu'ils se situent en pleine lumière ou à l'ombre.

• La visée est souvent oblique.

Les satellites actuels sont dits « agiles », c'est-à-dire que contrairement au système Landsat, ils sont capables de viser obliquement. Le corollaire est que nous n'avons que rarement des prises de vues verticales.

Image Ikonos de la ville d'Awash (Éthiopie), juin 2002

Orientation de la visée : 100°, direction du soleil : 250°, obliquité : 20°, pixel : 1 m



Dans la plupart des cas on voit une des façades des bâtiments et l'emprise du toit est décalée par rapport à l'emprise au sol. Les conséquences du relief sont proportionnellement plus importantes pour les images à très haute résolution que pour celles à haute résolution.

Image GeoEye de Mexico, 2010, pixel 50 cm



Image Ikonos de la ville d'Awash (Éthiopie), oct. 2003

Orientation de la visée : 190°, direction du soleil : 300°, obliquité : 22°, pixel : 1 m

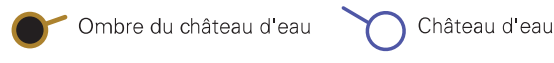
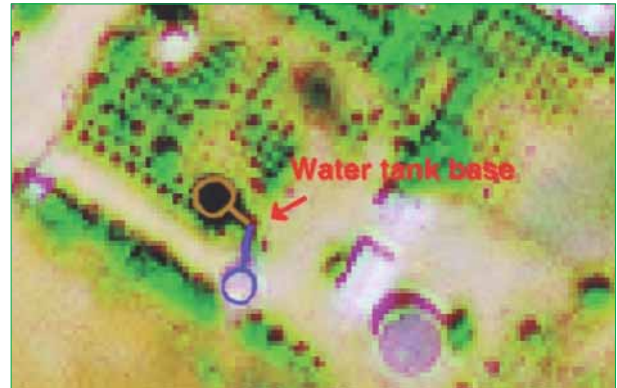


Quelles sources de données géographiques ?

Image Ikonos de la ville d'Awash (Éthiopie), juin 2002
Orientation de la visée : 100°, direction du soleil : 250°,
obliquité : 20°, pixel : 1 m



Image Ikonos de la ville d'Awash (Éthiopie), oct. 2003
Orientation de la visée : 190°, direction du soleil : 300°,
obliquité : 22°, pixel : 1 m



Ici tous les objets élevés sont déportés vers la droite de l'image par rapport à leur base. Ceci est très évident pour le sommet du château d'eau (Water tank sur l'image). Mais cela est vrai aussi pour les toits et la couronne des arbres.

Cela signifie qu'il faudra éviter de prendre des objets en élévation pour effectuer le géoréférencement ou le recalage de l'image.

Ici tous les objets élevés sont déportés vers le bas de l'image par rapport à leur base.

On voit aussi que lors de la digitalisation des maisons, par exemple, l'obliquité induit une erreur qui est variable et fonction de la hauteur de l'immeuble.

Image en visée verticale

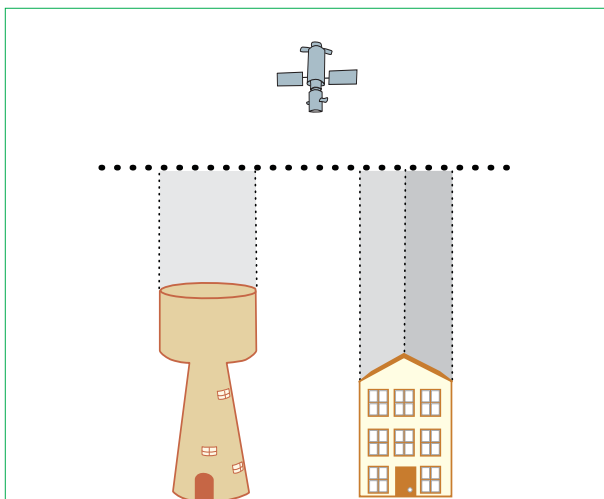
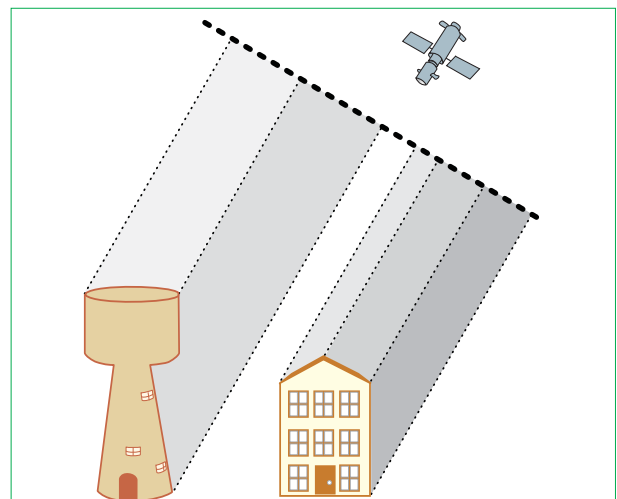


Image en visée oblique



Le serveur Google Earth via Savedit

Nous pouvons, aujourd'hui, établir facilement notre cartographie à partir de l'interprétation des images fournies par Google Earth ou tout autre serveur. Certes, comme nous l'avons expliqué, l'exactitude du géoréférencement des données images est variable suivant les régions, mais la qualité de Google Earth s'améliore. Cette méthode nous permet de nous affranchir du travail de levé GPS, telle que nous l'avons décrite ou telle qu'elle est préconisée par Open Street Map. Si l'exactitude s'avère insuffisante,

rien ne nous empêchera de rectifier le résultat en fonction des données GPS que nous aurons recueillies.

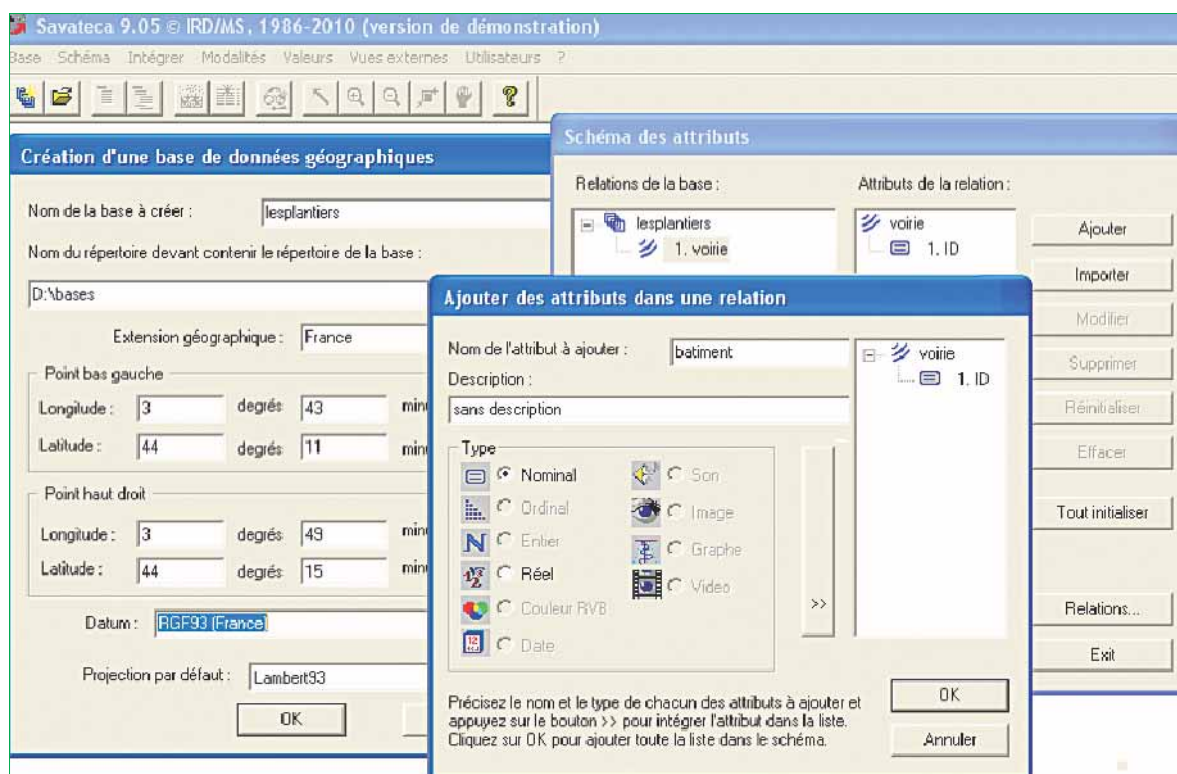
Nous allons décrire le processus en levant une carte sur une région de Lozère. Cette région est fort bien cartographiée par l'IGN français mais les cartes ne comportent pas les données qui nous intéressent. Pré-requis : un ordinateur sous système Windows et une liaison internet même à très faible débit (56 ko suffisent).

• Étape 1 - Création de la base de données

Télécharger le logiciel SavGIS (www.savgis.org) et l'installer par double clic sur le fichier Savpack. Créer une nouvelle base de données appelée « lesplantiers ». Indiquer le cadre géographique souhaité.

Créer le schéma de la base, c'est-à-dire la description des couches graphiques que nous voulons créer. Ne pas oublier de créer une « vue externe ».

Fenêtre SavGIS, module Création d'une base de données géographiques



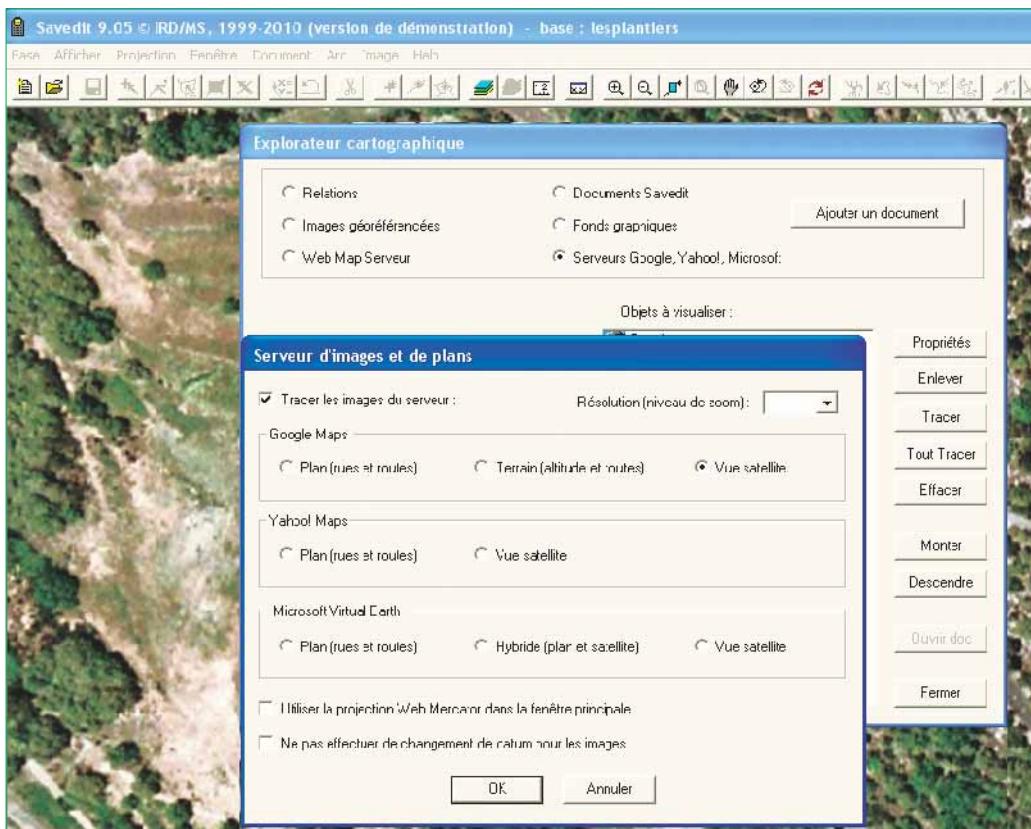
Quelles sources de données géographiques ?

• Étape 2 - Tracé de la voirie à l'aide de Savedit

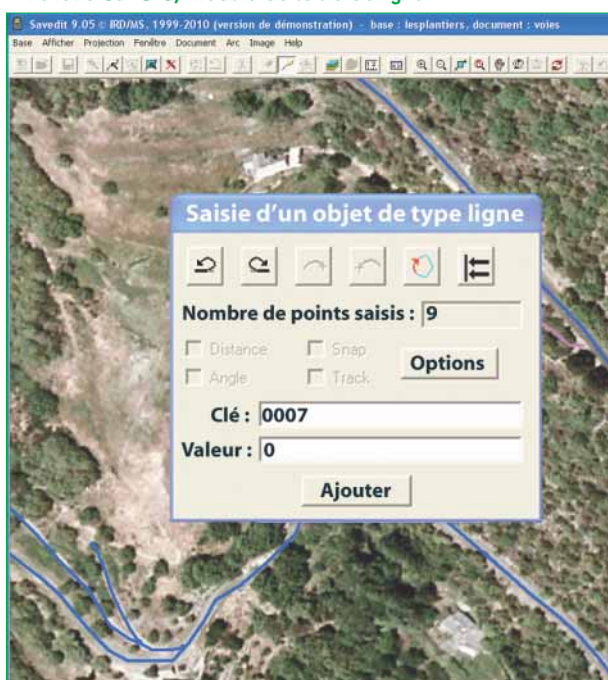
On ouvre ensuite cette base de données (ici encore vide pour le moment) dans Savedit. On demande d'afficher le contenu du serveur Google.

L'image disponible sous Google Earth s'affiche alors très simplement en tenant compte de la projection et du cadre géographiques choisis pour cette base de données.

Fenêtre SavGIS, module Savedit, saisie graphique, importation et édition



Fenêtre SavGIS, module de saisie de ligne

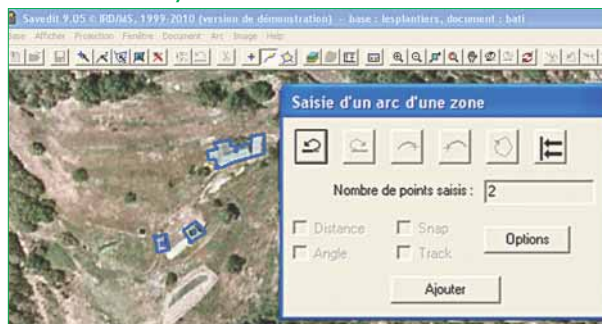


Nous pouvons directement commencer le tracé en ouvrant un nouveau document « ligne » pour les routes. La digitalisation peut se faire avec la précision que l'on souhaite car le zoom est constamment accessible.



Nous pouvons aussi tracer les bâtiments sous forme de zones.

Fenêtre SavGIS, module de saisie de zone



Nous obtenons deux ensembles de données géoréférencées : une relation routes, une relation bâtiments. L'image une fois exploitée n'est plus utile, penser à bien géoréférencer ses caractéristiques dans les métadonnées accompagnant les deux relations.



Les données d'altitude – SRTM – GDEM – Reference3D

SRTM

Le Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, initié par la NASA* a consisté à faire enregistrer par la navette spatiale (pendant 11 jours en février 2000) des données radar de presque toute la terre (entre 60° N et 54° S). Ces données ont été traitées par interférométrie en vue de produire des données d'altitude de la surface. L'erreur verticale est mentionnée comme étant de moins de 16 m.

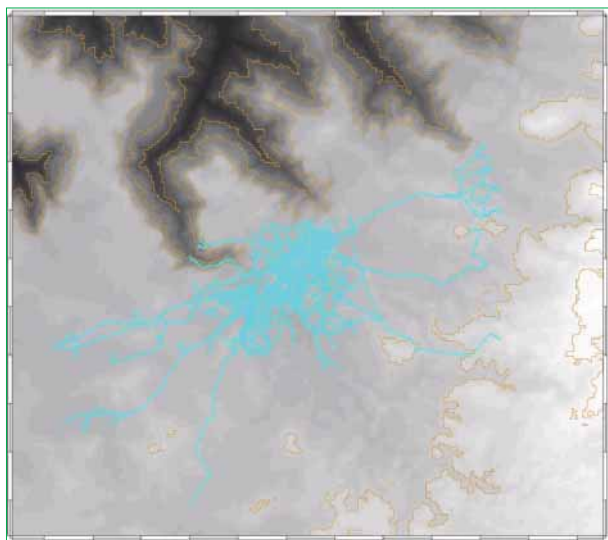
Une évaluation de la précision est donnée par Martin Gamache :

http://www.terrainmap.com/downloads/Gamache_final_web.pdf
La maille unitaire est de 30 m pour l'Amérique du Nord et l'Europe et de 90 m pour le reste du monde.

Les données peuvent être téléchargées sur plusieurs sites :

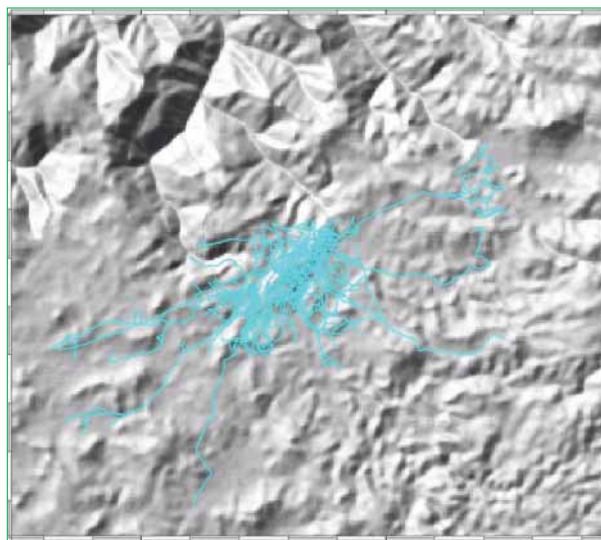
- le CGIAR_CSI* propose des données de la version 4, format GeoTif* ou ArcInfo ASCII (<http://srtm.csi.cgiar.org/Index.asp>). Cliquer ensuite sur : SRTM Data Search and Download ;
- le site du JPL (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>) renvoie sur l'USGS* qui propose la version 2, format hgt ;
- le site de l'USGS : (<http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/>) ;
- le site de l'université du Mariland (<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/srtm/>) propose des fichiers GeoTif et renvoie aussi sur les sites partenaires : NASA (JPL), USGS, NGA, DLR et ASI.

Visualisation des valeurs d'altitude du SRTM, Debre Birhan (Éthiopie)



Du blanc au noir : valeurs d'altitude croissantes
Tracé bleu : le réseau de voirie de Debre Birhan
Source carte : EMAP (Ethiopian Mapping Agency), Addis Abeba (Éthiopie), 1986

Visualisation du relief par estompage, Debre Birhan (Éthiopie), position nord-ouest du soleil



Tracé bleu : le réseau de voirie de Debre Birhan

Source carte : EMAP (Ethiopian Mapping Agency), Addis Abeba (Éthiopie), 1986

Quelles sources de données géographiques ?

GDEM

Le JPL* (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>) propose une page d'accueil pour le ASTER Global Digital Elevation Model* qui correspond à des données créées par stéréo d'images aster prises dans le visible. Deux sites de téléchargement sont affichés :

- le site du JPL (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem-wist.asp>),

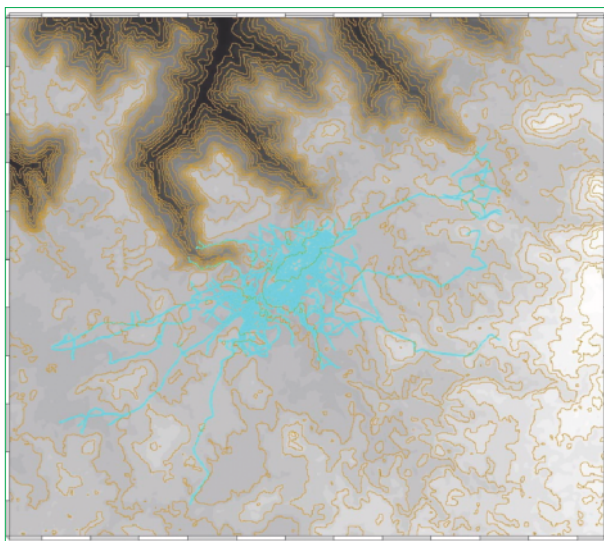
- le Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC)*

(<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/index.jsp>).

Pour accéder à ces deux derniers sites, il est nécessaire de s'enregistrer et les données sont fournies sous certaines conditions d'utilisation.

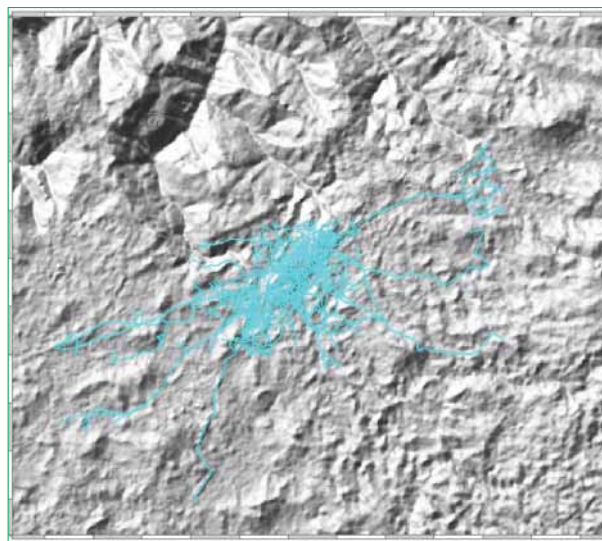
Ces données se présentent sous la forme de raster où chaque pixel mesure 30 m de côté.

Visualisation des valeurs d'altitude du GDEM, Debre Birhan (Éthiopie)



Du blanc au noir : valeurs d'altitude croissantes
Tracé bleu : le réseau de voirie de Debre Birhan
Source carte : EMAP (Ethiopian Mapping Agency), Addis Abeba (Éthiopie), 1986

Visualisation du relief par estompage, Debre Birhan (Éthiopie), position nord-ouest du soleil



Tracé bleu : le réseau de voirie de Debre Birhan

Source carte : EMAP (Ethiopian Mapping Agency), Addis Abeba (Éthiopie), 1986

Reference3D

De la même façon, la société Spotimage a créé des DEM* à partir des données des satellites SPOT. La résolution en est la même que GDEM*, soit 30 m, mais avec une exactitude plus importante (10 m en altitude et 15 m en positionnement horizontal). Malheureusement le coût est élevé : 2,3 euros/km² avec un minimum de commande de 3 000 km².

Le fonctionnement du système GPS

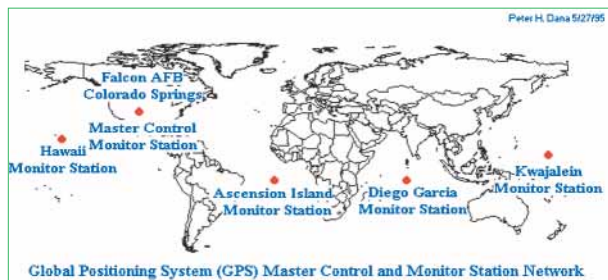
Il s'agit au sens propre d'un système qui se compose de trois éléments.

- La partie « spatiale » est composée de **24 satellites** tournant autour de la terre en 12 heures à une altitude de 20 000 km. Chaque satellite est équipé d'une horloge atomique et envoie un signal composé de l'heure d'émission et de la position du satellite à l'instant de cette émission. L'émission de ce signal prend la forme d'une sphère dont le centre est le satellite.
- La partie au sol comprend **5 stations fixes** qui calculent la position de chaque satellite, puis la lui renvoient afin que ce dernier la transmette aux récepteurs des usagers.
- La troisième partie est le **récepteur** de l'utilisateur qui écoute et récupère les données de chaque satellite. Le récepteur (partie utilisateur) calcule la position de son antenne comme étant le point d'intersection entre les sphères de signal émises par les différents satellites. Le minimum requis est de trois sphères correspondant à trois satellites différents. C'est l'ensemble de ce système qui permet au récepteur de connaître les rayons et la position de chacun des satellites. Le récepteur GPS écoute les messages, c'est-à-dire les signaux électromagné-

tiques envoyés par les satellites. Ces signaux contiennent les informations très précises sur la position instantanée du satellite et l'heure d'envoi du message issues des calculs réalisés par les stations fixes et retransmises par le satellite.

Le récepteur GPS calcule les temps de parcours des messages envoyés par les satellites (ordre de grandeur : 60 millisecondes) et peut donc déduire le rayon de chaque sphère (rayon = temps de cheminement du signal \times vitesse de la lumière).

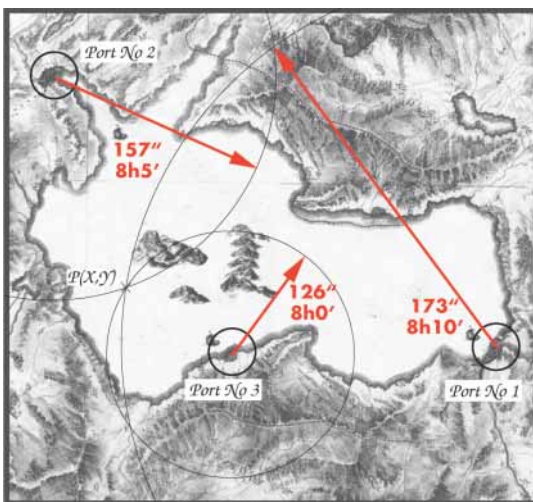
Système GPS : les stations fixes au sol



Source : Peter H. Dana, 1995.

Il construit les équations correspondant aux différents satellites « visibles » et les résout au moyen d'une méthode itérative.

Pour mieux comprendre le fonctionnement du système GPS : la fable du lac en brouillard constant



Pour mieux comprendre cette méthode de calcul complexe, vous lirez avec intérêt la petite fable élaborée dans ce but par Pierre-André Chevalier : il s'agit de l'histoire d'un lac constamment dans le brouillard où la navigation à vue est donc impossible. Un ingénieux dispositif de communication sonore « au son du canon » entre les trois ports et le bateau navigant est alors conçu et mis en place par l'ingénieur territorial en chef. Ce système permet ainsi au bateau d'utiliser ce paysage sonore pour se localiser à défaut de voir les trois ports...

Source : Comment le GPS calcule-t-il sa position ? Une introduction didactique à la géométrie du GPS, <https://staff.hti.bfh.ch/cip1/gps/index.html>
 La traversée du Grand-Lac. Une histoire imaginaire, <https://staff.hti.bfh.ch/cip1/gps/ressources/histoire.html>
 Pierre-André Chevalier, professeur à l'École d'ingénieurs de Bienne, Haute École spécialisée bernoise, mars 2002

(Séquence vidéo *Utiliser Google Earth*)

Utiliser le Géoportail de l'IGN ou Google Earth

Les levés de points GPS proposés dans ce guide servent à positionner correctement l'image satellite ou la photographie aérienne, car ce géoréférencement est une nécessité pour l'utilité de la cartographie que l'on cherche à réaliser. Ces levés restent, pour le moment, la seule méthode rapide et assez précise. Bien évidemment, sur la France il n'est pas très utile de pratiquer cette méthode puisque le Géo-

portail IGN nous offre des images aériennes et des cartes assez bien géoréférencées. Il en est de même pour la plupart des lieux dans le monde pour lesquels il existe dans Google Earth des données géographiques actualisées. Cependant, nous conseillons de toujours procéder à une vérification préalable de leur adéquation à l'objectif poursuivi, notamment pour cette dernière source.

• Présentation des données sur le Géoportail de l'IGN : <http://www.geoportail.fr/>

Si nous reprenons l'exemple de la cour du centre IRD de Bondy, nous lisons sur Géoportail ces coordonnées en Lambert-93 du petit bassin (tracé rouge). Longitude : 662300 ; latitude : 6868303.

Le Géoportail (<http://www.geoportail.fr>)



• Présentation des données sur le Google Earth : <http://earthgoogle.fr/>

Les coordonnées lues sur Google Earth sont (en UTM, WGS84) : Longitude 462311,41 ; latitude 5417980,84. La transformation de ces valeurs UTM en Lambert-93 par la formule de Molodensky nous donne : Longitude 662298.996 ; latitude 6868303.517.



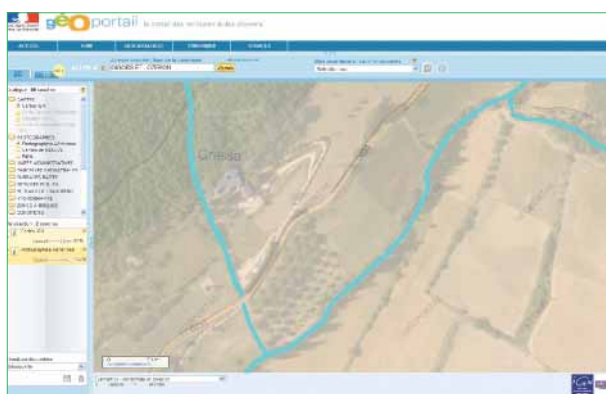
Les 2 ensembles de données sont en accord, **à un mètre près**, avec les données de notre GPS Garmin 60.

• Exemples de décalage entre données accessibles sur un même portail

Notons cependant que le cadre de la région parisienne est très favorable ; si nous regardons une région plus au sud de la France, la situation peut être différente. Par exemple, dans cette région de la Drôme, si on consulte les données disponibles sur le Géoportail de l'IGN, la concordance est bonne entre la photographie aérienne et la carte IGN ; par contre, le décalage avec le cadastre peut s'avérer

être de plus de dix mètres. Ceci ne vient pas d'une erreur technique de l'IGN qui est en capacité de modifier ses propres couvertures aériennes à l'aide d'une méthode similaire à celle que nous préconisons. Cela vient d'une interdiction qui lui est faite par le droit appliqué au cadastre. L'IGN n'est pas autorisé à modifier le cadastre même si celui-ci présente des imperfections.

Photographie aérienne IGN avec en surimpression bleue le tracé des rivières disponibles sur le Géoportail



Même photographie aérienne avec en surimpression le tracé décalé du plan cadastral et les numéros de parcelles



Pour ce même coin de la Drôme, la précision de Google Earth laisse, elle aussi, à désirer. Ainsi, même si Google Earth semble donner des cartes et images d'assez bonne précision, il nous semble prudent

de le vérifier avec un GPS. Il n'est pas rare alors de constater des différences de plus de 50 m entre des images, disponibles sur Google Earth, du même lieu mais prises à des dates différentes.

Image Spot et tracé des routes disponibles sur Google Earth



La méthode de recalage par tessellation

Dans une image raster, que cela soit une image satellite, aérienne ou l'image « scannée » d'une carte, il n'y a pas à proprement parler de « géoréférencement » : les pixels sont certes référencés mais uniquement à partir de leurs coordonnées dans la matrice. À tel pixel correspondent tel numéro de ligne et tel numéro de colonne. Recaler une image revient à créer une nouvelle matrice de pixels où chaque numéro de ligne et de colonne correspond respectivement à une valeur de longitude et une valeur de latitude. À chaque pixel correspond alors une localisation géographique en coordonnées planes, généralement en mètres par rapport à une origine bien définie par le système utilisé. La méthode de base consiste à établir les coordonnées dans la projection géographique que l'on veut utiliser pour un minimum de 3 pixels de l'image matrice d'origine non géoréférencée. Avec les coordonnées géographiques de ces trois points nous pouvons effectuer une transformation tout à la fois d'échelle, d'orientation par rapport au nord et de positionnement en longitude et latitude pour l'ensemble de l'image matrice d'origine. L'image matrice ou encore dite raster est alors recalée, c'est-à-dire que chacun de ses pixels est géographiquement positionné et, pour tout élément présent sur l'image, une position géographique est disponible. Une image étant une matrice rectangulaire, nous obtenons, après géoréférencement, une autre image rectangulaire généralement déformée par rapport à la première, mais pour laquelle chaque pixel aura une position géographique précise dans le système de projection choisi. Dans une « représentation » vectorielle, les points formant la ligne ou la surface peuvent avoir des valeurs relativement indépendantes les unes des autres. Dans une représentation matricielle

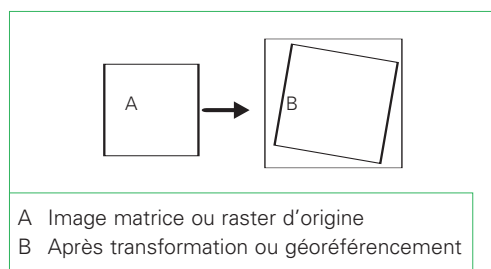
plane et orthonormée, c'est-à-dire projetée dans un système géodésique prédéterminé, chaque pixel est dépendant des autres ; la position d'un pixel peut se déduire de la position d'un quelconque de ses voisins par la taille du terrain que représente un pixel.

En utilisant trois points « de calage », nous positionnons les pixels dans le système de projection géographique choisi et de fait nous créons une nouvelle matrice où la position de chaque pixel peut avoir été modifiée, déplacée, mais pas sa situation vis-à-vis de ses plus proches voisins. Dans cette nouvelle matrice, chaque pixel est bien positionné géographiquement et la valeur de luminance qui lui est associée est la valeur du pixel qui, sur la matrice originale, s'avère le plus près d'une position calculée par une seule et même fonction mathématique appliquée à l'ensemble de l'image (polynomiale de degré 1★).

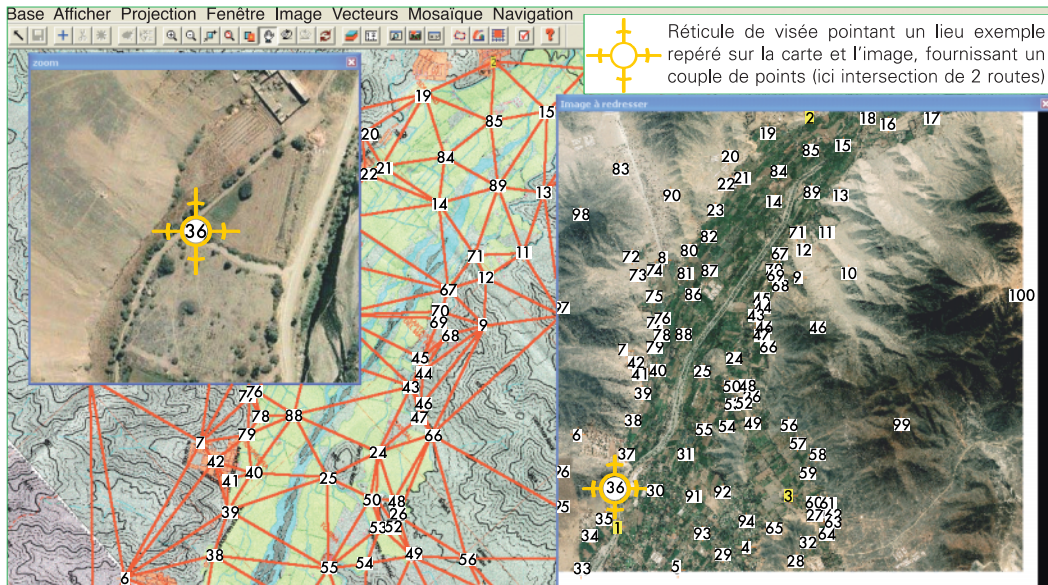
La méthode de recalage par tessellation fonctionne sur le même principe que cette méthode de base des 3 points de calage (voir fiche 11). Plus le nombre de points de contrôle est élevé, meilleur est le recalage final. Ces points vont déterminer des triangles (par l'algorithme de triangulation de Delaunay★). À l'intérieur de chaque triangle nous appliquons une déformation (polynomiale) spécifique que l'on peut définir grâce aux trois sommets. Il est à noter que si, pour chaque triangle, la déformation sera différente, la déformation sera presque identique pour tous les lieux situés de part et d'autre de la ligne de séparation entre deux triangles jointifs. En théorie, le nombre de ces points doit être plus grand là où le relief est important car un relief important induit les déformations les plus fortes. Voici un exemple du recalage d'une image sur une carte. Les points de contrôle sont assez faciles à choisir intuitivement et en déterminant des intersections de voies ou des limites de pâtés de maisons. Dans ce cas la précision du recalage obtenu dépend de la précision de la carte (ici 1 : 25 000).

Pour réaliser la tessellation ou triangulation, il faut définir des couples de points : l'un sur le support géoréférencé (dans l'exemple ci-dessous, sur la carte au 1 : 25 000 que l'on voit en fond) ; l'autre sur l'image à recaler (ici, une image Quick Bird qui se présente, non rectifiée dans le cadre de droite) ; le petit cadre

Changement de fenêtre de l'image avec recalage



Réalisation de la tessellation pour une image et à l'aide d'une carte



En fond, carte IGN péruvienne, échelle 1 : 25 000, site de Lima (Pérou),
À droite image Quick Bird, pixel 50 cm, 2009

en haut à gauche, venant en surimpression de la carte, est la réplique en zoom de l'image de droite : facilité fournie par un outil zoom fort utile pour pointer plus précisément.

Chaque couple de points ainsi pointé engendre un sommet de triangle dont les côtés apparaissent en rouge. Dans chaque triangle, la déformation sera différente et dépendra de la qualité du repérage sur la carte et sur l'image. Quels points d'ancrage devons-nous choisir ? Beaucoup de méthodes utilisent de petits objets au sol, par exemple les points géodésiques de l'IGN qui sont matérialisés sur le terrain par des bornes et donnent pour ceux-ci des coordonnées très précises. Malheureusement ces points, s'ils sont bien dessinés sur la carte, ne sont généralement pas facilement repérables sur l'image. Pour dépasser cette difficulté, nous préférons utiliser des intersections de linéaments bien identifiables en même temps sur la carte et sur l'image, tel le point exemplé de l'image précédente.

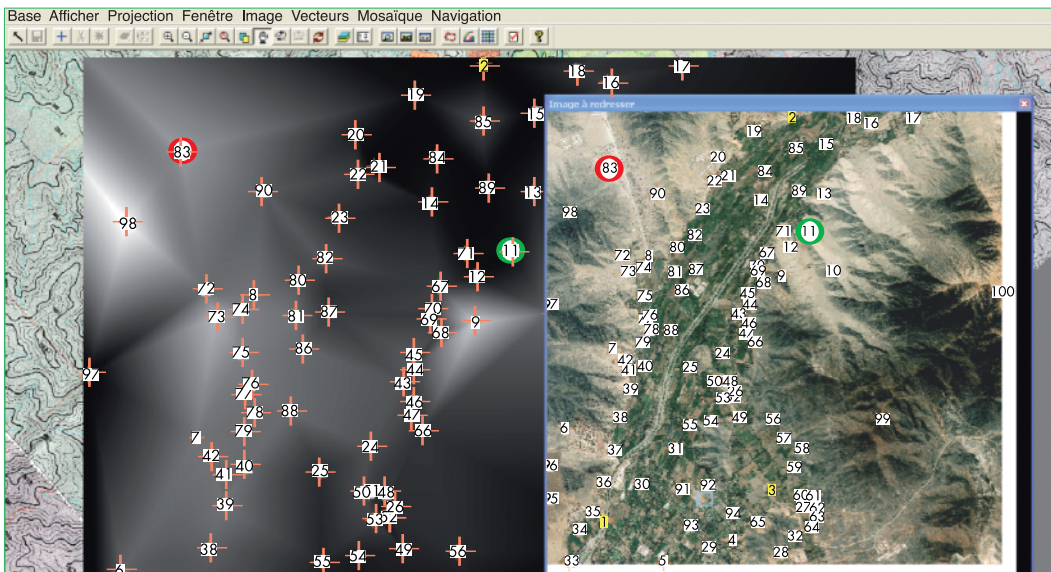
La déformation effectuée dans chacun des triangles aura des valeurs différentes, comme le montre la représentation graphique ci-contre. Les parties sombres représentent des valeurs de déplacement peu importantes ; à l'inverse les valeurs claires correspondent à des valeurs de déplacement fortes.

Comme les déformations les plus importantes sont induites par le relief, il est préférable de densifier les points de calage sur les lignes de rupture de pentes. La méthode du plus proche voisin consiste à attribuer à chaque point cible une combinaison des valeurs des points sources les plus proches de son antécédent par la transformation inverse.

C'est une interpolation polynomiale d'ordre 0.

Nous utilisons de préférence cette méthode car elle est adaptée aux transformations que nous réalisons, c'est-à-dire pour lesquelles la taille du pixel ne change que très peu.

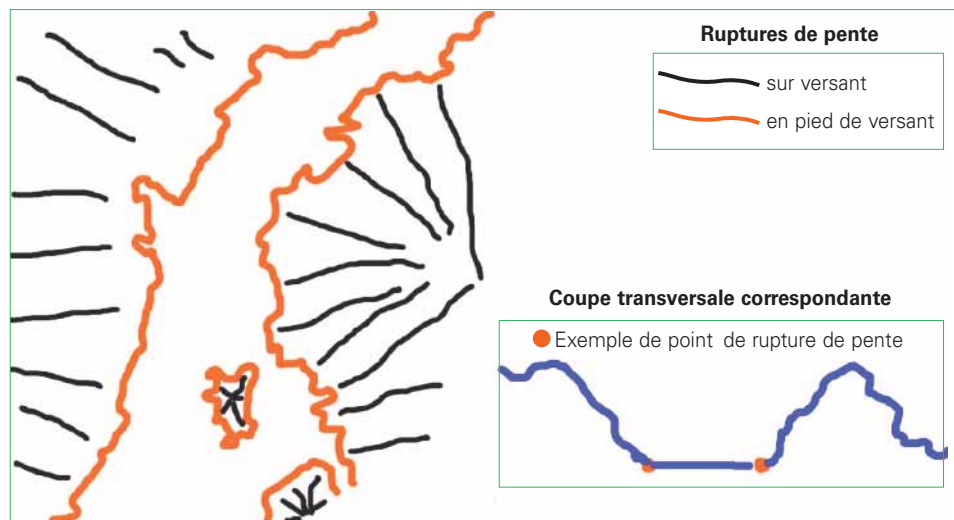
Représentation spatiale des valeurs de déplacement des points correspondant à l'algorithme de déformation appliqué



En fond, carte IGN péruvienne, échelle 1 : 25 000, site de Lima (Pérou)
 En surimpression, représentation graphique des niveaux de déformation pour chaque pixel de l'image
 À droite image Quick Bird, pixel 50 cm, site de Lima (Pérou), 2009

- Point 83
- Point 11

Exemple schématique d'un repérage des principales ruptures de pente pour lesquelles il est important de densifier les points de levés



La méthode de relevé par traces de points GPS

Lorsque l'on confie, sans préalable, un GPS à quelqu'un dans le but de faire des relevés, on reçoit invariablement des données peu nombreuses (quelquefois limitées aux quatre coins d'une place publique) accompagnées de relevés sur un carnet décrivant l'endroit où a été relevé chaque point. Cette méthode induit une exploitation des résultats qui s'avère fort lourde. On est aussi amené à annuler beaucoup de points en raison d'incohérence manifeste entre la description du point et la localisation relevée. Pour cette raison nous préconisons d'effectuer le relevé en l'absence totale de tout carnet de terrain. La méthode ici décrite revient à « créer » une

carte des cheminements urbains à partir des traces de points GPS. Voici une partie des relevés effectués en une semaine dans la ville de Debre Birhan en Éthiopie (50 000 habitants). Certaines traces ont été levées en moto, d'autres à pied. Avec un tel tracé, il nous est assez facile de déterminer une centaine de points de contrôle rien que par analogie des formes entre l'image et cette « carte » des cheminements. On peut voir que nous avons privilégié les intersections de voirie en levant exhaustivement le trajet principal et seulement 50 m dans la profondeur de la rue qui la croise. Il n'est pas nécessaire de lever l'ensemble de la voirie pour reconnaître les formes.

Carte des cheminements effectuée par traces de points GPS

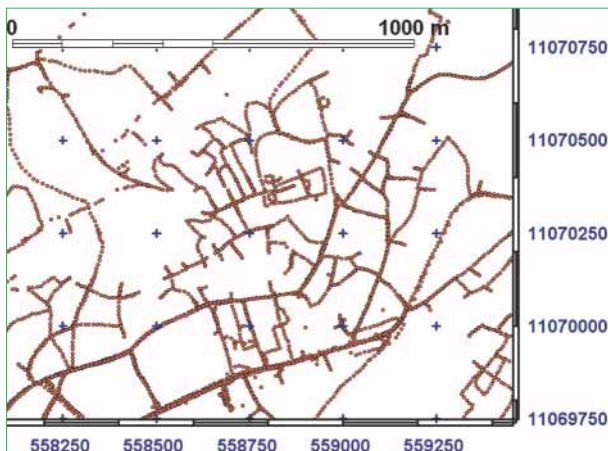


Image satellite Quick Bird (02/12/2007)



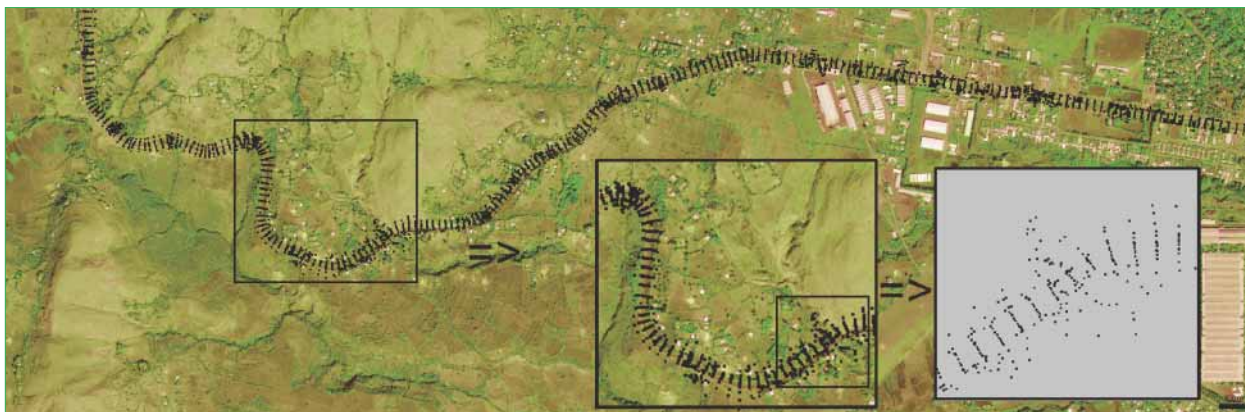
Cette méthode présente quelques similitudes avec ce que préconise OpenStreetMap. Cependant, nous privilégions le relevé de traces en intersections. Car le relevé des centres des intersections impose un carnet de terrain précis et est source d'erreurs fréquentes malgré tout le soin que l'on aura pris à le remplir. De plus, nous n'avons pas besoin d'identifier chacune des intersections. La confrontation avec l'image les identifie de fait car les déformations de l'image, de proche en proche, ne sont jamais très importantes.

Mais il faut éviter d'avoir des traces qui ne soient pas suffisamment croisées, ce qui est très souvent

le cas des données GPS obtenues auprès d'organismes qui traitent d'aménagement routier ou autre. Ces méthodes sont d'un intérêt très médiocre pour nous malgré l'extrême précision de leurs données (souvent levées par des méthodes différentielles), car ces levés ne sont pas adaptés à notre utilisation. Pour exemple, le fichier de la Road Authority (institut des transports éthiopien), de 15 000 points de relevés GPS traçant la voie principale de la ville de Kombolcha, à une précision 10 cm, fournit une cartographie inadaptée à notre propos.

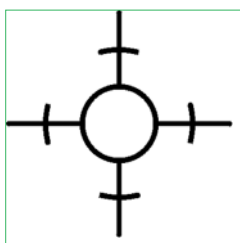
Cartographie de l'ensemble des relevés GPS Road Authority Kombolcha

Détails de la carte



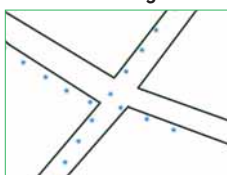
En fond, image satellite Quick Bird, 02/10/2007, pixel 50 cm.

Réticule de visée utilisé sur la lunette astronomique de Serge Bertorello

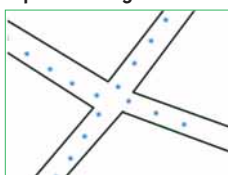


Lorsque nous utilisons un réticule de visée, il n'est pas nécessaire d'avoir l'intersection de la ligne verticale et de celle de l'horizontale car l'œil interpole très précisément.

Traces de GPS Avant recalage



Après recalage

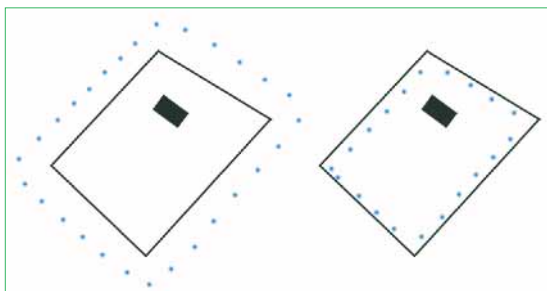


Traits : les bords de rue.

Pointillés : traces relevées au GPS.

De la même façon, avec deux traces GPS nous reconstituons précisément un carrefour. On voit qu'il n'est alors pas nécessaire d'identifier préalablement le centre de l'intersection. Ceci évite la perte de temps passé à le déterminer au sol sur le terrain. En utilisant la notion de réticule, point n'est besoin de noter la position exacte du point central d'intersection de deux voies. Cette configuration détermine un couple de points de contrôle.

Tour d'une parcelle par l'extérieur ou par l'intérieur



Lorsque nous n'avons pas de croisée mais uniquement des objets isolés, il est facile de recréer l'équivalent d'un réticule en contournant l'arbre ou la maison isolée. Tourner autour d'objets isolés en tentant de rester à la même distance des murs ou des clôtures (entre 5 et 10 m). Tourner autour des arbres isolés sans chercher à se mettre à l'aplomb de la canopée.

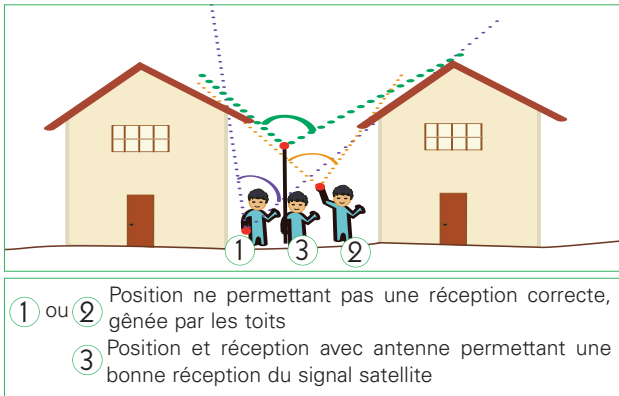
On peut dire que faire le relevé selon le tracé en rouge, c'est-à-dire autour de l'arbre ou de la maison, sera équivalent à faire ce relevé selon le tracé en bleu, autour de la haie boisée ou de la clôture.

Deux modes de relevé différents mais équivalents

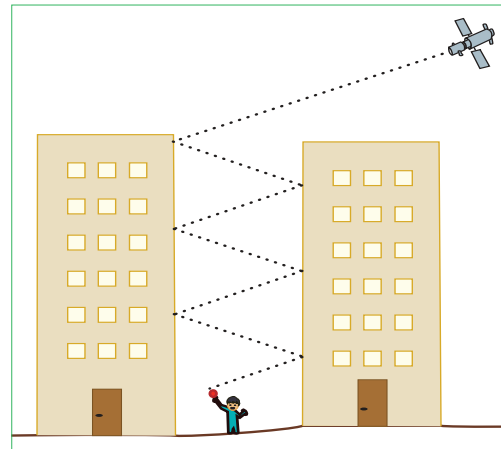


Il est important de travailler avec une antenne additionnelle. Celle-ci est légère et permet, lorsqu'on la fixe à une perche, de travailler à une hauteur constante de 2 m, sans avoir le bras ankylosé par une position verticale fatigante. On pourra constater la différence de réception, donc de précision, d'un GPS positionné au niveau de la ceinture avec le même récepteur effectuant la mesure par une antenne située un peu en hauteur. Celle-ci peut être très importante, particulièrement en

■ Schéma des différentes positions de réception GPS en ville



■ Schéma d'une situation de multiréflexion du signal



milieu urbain car les bâtiments y génèrent des ombres et des réflexions multiples qui gênent beaucoup la réception. On pourra constater que nous avons une dégradation similaire lors du passage dans une allée bordée de grands arbres.

Quelques règles de travail pour le relevé

- Imprimer l'image satellite même non géoréférencée à une échelle permettant de bien voir les rues et chemins.
- Tracer au crayon un itinéraire présentant beaucoup d'intersections de rues et bien différent des acquisitions qui ont été faites antérieurement. Noter les objets isolés dont il faudra faire le tour.
- Aller sur le terrain pour enregistrer les données. Prendre un sac à dos avec de quoi supporter l'antenne sans trop de gêne. Partir à pied, en vélo ou en moto. Éviter le mode « voiture » : il ne passe pas partout, est moins précis et moins maniable.
- Vérifier le système géodésique sur lequel est réglé l'affichage du GPS ; si le GPS travaille en WGS84, il est capable d'afficher, après calcul, les coordonnées dans un autre référentiel.
- Régler le GPS sur le « tracking automatique » soit en seconde, soit en mètre : le Garmin 60 n'accepte pas une distance de moins de dix mètres entre chaque point stocké, ce qui est un minimum acceptable.
- Mettre en marche le récepteur, rester au même endroit, sur un point fixe à l'horizon bien dégagé, le temps de l'initialisation de l'appareil, 2 ou 3 minutes. Lors de la première utilisation ou après une absence longue, prévoir 20 minutes pour que le GPS puisse s'initialiser correctement.
- Se mettre en route lorsque l'appareil indique une précision estimée de l'ordre de 6 m. En Europe, on attendra 3 m.
- Marcher ou rouler au milieu de la voie pour toute portion non asphaltée.
- Pour éviter les accidents, on se mettra, par convention, à droite ou à gauche (à choisir au départ) de la chaussée pour les voies asphaltées. Chaque point GPS étant numéroté, on pourra déduire facilement par la suite le sens de progression suivi. La précision de la mesure permet de distinguer facilement l'aller du retour.
- Faire le tour des objets isolés à une distance constante du bord de l'objet. À cinq ou six mètres des murs d'une maison, de l'aplomb de la couronne d'un arbre ou d'un pylône électrique.
- Nous conseillons de commencer jour après jour par le relevé d'une même portion de voie, un endroit témoin bien connu. Cela est peu coûteux car le récepteur permet de stocker une trace de 100 km. Cette méthode est utile car elle validera l'ensemble de la trace du jour et évitera d'avoir à annuler les mesures en cas de doute sur le système géodésique utilisé ou en cas de mauvaise réception des satellites. Elle permet aussi d'estimer l'exactitude des données tout au long de l'année.
- Il est préférable d'arrêter le GPS lorsque l'on sort de la trace prévue car, s'il y a une mauvaise réception des satellites, cela peut occasionner l'enregistrement de points totalement erronés. Il faut penser à attendre une minute après la remise en marche du récepteur, lorsque l'on reprend le trajet.

Intégrer des données GPS dans un SIG

Les levés de points GPS proposés dans ce guide servent à positionner correctement l'image satellite ou la photographie aérienne. Après avoir obtenu ce géoréférencement, l'image pourra être utilisée pour cartographier les différents éléments urbains existants.

Attention !

Il est bon de tester votre procédure de lecture des données de votre GPS avant tout travail exhaustif ! Faites un test autour de votre pâté de maison. Il n'existe pas vraiment de standard lors de l'exportation des données relevées par le récepteur GPS.

Chaque GPS est accompagné d'un logiciel permettant de télécharger les données sur votre ordinateur dans un format .csv que l'on peut plus ou moins paramétrer. Pour notre méthode, il est important de récupérer au moins les données suivantes : identifiant, longitude, latitude, altitude mais aussi la date et l'heure. Notre GPS de référence (Garmin 60) avec son logiciel associé (MapSource) ne permet de lire que les données exprimées en WGS84. Il nous semble préférable de vérifier que l'on exporte des valeurs en WGS84 avec des coordonnées projetées en mètre plutôt que des coordonnées géographiques en degré. Ces logiciels compliquent quelquefois leur format.

Exemple des fichiers d'export de MapSource

```

Grid UTM
Datum UGS 84

Header Name Description Type Position Altitude Depth Proximity Temp
Link Categories
Waypoint 075 20-NOV-07 7:13:45AM User Waypoint 37 P 480711 998173
Waypoint 076 20-NOV-07 7:13:47AM User Waypoint 37 P 480711 998173
Waypoint 077 20-NOV-07 7:13:48AM User Waypoint 37 P 480711 998173
Track ACTIVE LOG 13/10/2007 15:26:07 00:19:07 320 m 1.0 kph
Header Position Time Altitude Depth Leg Length Leg Time Leg Speed
Trackpoint 31 T 664791 4961027 13/10/2007 15:26:07 314 m
Trackpoint 31 T 664806 4960995 13/10/2007 15:26:25 369 m 36.6 m
Trackpoint 31 T 664806 4960989 13/10/2007 15:26:41 373 m 6.01 m
Trackpoint 31 T 664802 4960983 13/10/2007 15:26:57 376 m 7.12 m
Trackpoint 31 T 664798 4960977 13/10/2007 15:27:09 381 m 7.45 m
Trackpoint 31 T 664796 4960973 13/10/2007 15:27:20 385 m 4.75 m
Trackpoint 31 T 664795 4960967 13/10/2007 15:27:38 389 m 5.80 m
Trackpoint 31 T 664793 4960964 13/10/2007 15:27:50 391 m 3.17 m
Trackpoint 31 T 664792 4960960 13/10/2007 15:28:10 395 m 4.35 m
Trackpoint 31 T 664788 4960952 13/10/2007 15:28:26 397 m 8.66 m

...

... Temperature Display Mode Color Symbol Facility City State Country Date Modified
'3 Symbol & Name Unknown Flag, Blue
'3 Symbol & Name Unknown Flag, Blue
'3 Symbol & Name Unknown Flag, Blue

Speed Leg Course
m 00:00:18 7.4 kph 153° true
m 00:00:16 1.4 kph 205° true
m 00:00:16 1.6 kph 211° true
m 00:00:12 2.2 kph 213° true
m 00:00:11 1.6 kph 212° true
m 00:00:18 1.2 kph 192° true
m 00:00:12 0.95 kph 213° true
m 00:00:20 0.78 kph 205° true
m 00:00:16 1.9 kph 203° true
    
```

On voit que le format des « trackpoints », c'est-à-dire des levés automatiques répétés avec un pas de plusieurs mètres ou secondes n'est pas le même que celui des « waypoints » qui servent à relever des points précis et identifiés.

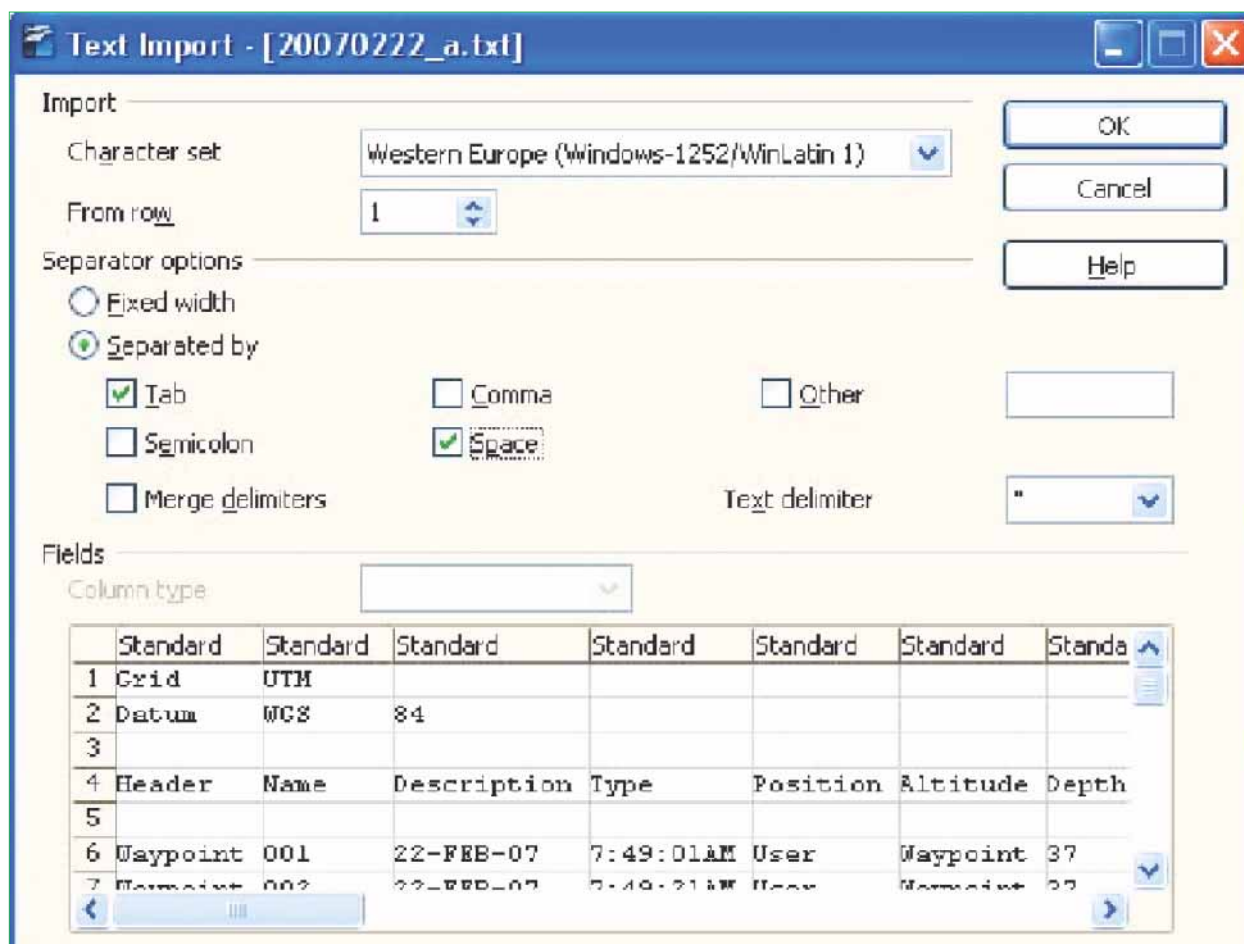
Géoréférencer les données

De plus, le format de MapSource mêle les séparateurs « tabulation » et « espace », ce qui nous oblige à « traduire » les fichiers avant de les intégrer dans notre base de données.

Référence :

http://upload.savgis.org/files/Didacticiels/Didacticiel_4.zip

Fenêtre d'import de MapSource



Avec un GPS différentiel, on peut atteindre une précision décimétrique ; mais nous ne préconisons pas son utilisation car cette précision coûte cher et surtout n'est pas indispensable. Une précision de 10 cm n'a de sens que si nous sommes capables de localiser sur le terrain l'endroit correspondant à 10 cm près. Cela impose de remplir précisément un carnet de terrain et de marquer le point au sol par des clous ou de la peinture.

Notre but est de géoréférencer correctement des images dont les plus précises n'auront pas une résolution plus fine qu'un pixel de 50 cm de côté. Il s'agit de géolocaliser des objets que nous voyons en même temps sur l'image et sur le terrain. Nous pensons que la précision de 3 m (en Europe) ou 5 m (en Afrique) est suffisante pour notre objectif. Cette précision est atteinte par une multitude de modèles de

GPS basiques. Il est cependant important de satisfaire quelques besoins spécifiques :

- portabilité et autonomie. L'utilisation d'une batterie rechargeable est conseillée. Dans la pratique, l'utilisation d'une petite antenne est indispensable car on ne peut rester une heure le bras tendu verticalement et à hauteur constante ;
- possibilité de prise de données en mode automatique (par exemple, une valeur tous les dix mètres) ;
- capacité de stockage adaptée, un parcours de 100 km avec un relevé tous les 10 m équivaut à un total de 10 000 mesures saisies ;
- présence d'un système permettant de stocker puis de transférer les mesures x, y, z sur un ordinateur.

Nous utilisons principalement un GPS 60 de Garmin qui présente toutes ces caractéristiques.

Géoréférencer une image

Qu'est-ce qu'une image numérique ?

Une photographie aérienne ou prise par satellite est une matrice de valeurs représentant la somme de l'intensité lumineuse réfléchie par une petite surface terrestre, par exemple un carré de 10 m sur 10 m. Ces petites surfaces, appelées « pixel » (picture elementary), ont toutes la même taille dans la matrice. On parle de pixel de 10 m, 60 cm... L'image est une matrice, aujourd'hui, toujours orthogonale. Cette image peut être composée de plusieurs matrices liées, superposées et comportant des valeurs dans chaque longueur d'onde utilisée. C'est une projection plane. Sa localisation est parfaitement définie si l'on dispose de la taille du pixel, la position d'un pixel et le système de projection.

Les fournisseurs vendent les images avec des niveaux de correction géométrique variables. Par exemple, les niveaux 1A et 1B de Spotimage*1 ne comportent aucune des trois variables de localisation (taille du pixel, position d'un pixel, système de

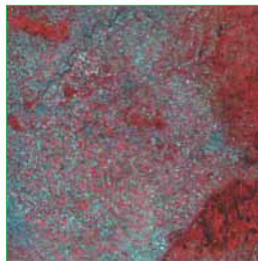
projection). Par contre le niveau 3, plus élaboré, est censé être superposable à une cartographie.

Le niveau 1A ne présente aucune rectification géométrique.

Pour obtenir le niveau 1B, la position de chaque pixel a été recalculée, ligne par ligne, dans une nouvelle matrice pour tenir compte de la rotation de la terre. Celle-ci comporte plus de colonnes, certains pixels, en noir, ne correspondent à aucun pixel de l'image 1A. Dans le même temps, une autre modification tient compte de l'obliquité de la prise de vue. La visée est en effet souvent oblique, dans une direction perpendiculaire à la trace du satellite, ce qui induit un allongement de la surface représentée sur la terre dans la direction est/ouest. Puisque le résultat doit être une matrice orthogonale, certains pixels seront répétés sur l'image résultante 1B qui sera d'autant plus large que l'inclinaison a été forte. Spotimage précise qu'aucun de ces deux niveaux ne fournit des images géocodées (c'est-à-dire des images qui ont été géométriquement rectifiées).

Niveau 1A

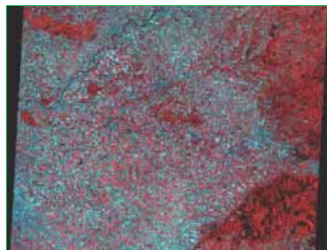
Correction radiométrique des distorsions dues aux écarts de sensibilité entre les détecteurs élémentaires de l'instrument de prise de vue. Images destinées aux utilisateurs désireux d'effectuer eux-mêmes les traitements géométriques de l'image.



Niveau 1B

Correction radiométrique identique à celle du niveau 1A. Correction géométrique des effets systématiques (effet panoramique, courbure et rotation de la Terre).

Les distorsions internes de l'image sont corrigées, ce qui autorise les mesures de distance, d'angle et de surface. Produit privilégié pour la photo-interprétation et les études thématiques.



Les algorithmes de Spotimage utilisent des données dites ancillaires (dénommées aujourd'hui metadata*) provenant du satellite et de son système de contrôle. Les algorithmes engendrant les données dites de niveau 3 utilisent en plus des points de référence au sol et un modèle numérique d'altitude. Encore faut-il que ces points et ce modèle existent. Les données de niveau 3 sont dites « orthorectifiées ».

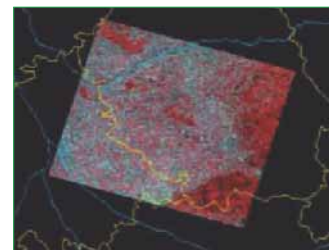
Niveau 2B (précision)

Mise en projection cartographique avec prise de points d'appui prélevés sur des cartes ou par mesure sur site type GPS. L'image est corrigée à une altitude moyenne dans une projection et un découpage cartographique standardisés.

Utilisé lorsque les déformations dues au relief ne sont pas déterminantes (terrain plat, etc.).

Niveau 3 (ortho)

Mise en projection cartographique à partir de points d'appui prélevés et d'un MNE* issu de Reference3D pour éliminer les distorsions dues au relief.



1 - http://www.spotimage.com/automne_modules_files/standard/public/p153_909858efbb7781b6279d90fd62ac4640Fiche_technique_pretraitement_FR_sept2010.pdf

Géoréférencer les données

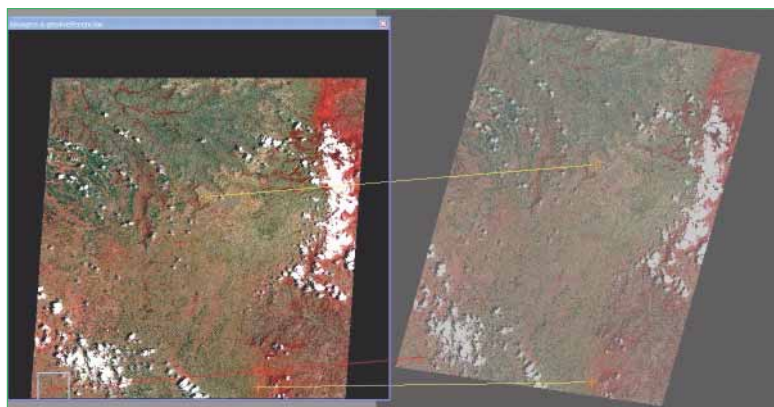
Les algorithmes mis en œuvre par Google Earth sont souvent inconnus et variés ; certaines portions tenant compte de l'altitude et de l'angle de visée, d'autres non. Plus généralement, les résultats de traitements effectués par les fournisseurs des images que l'on peut se procurer sont plus ou moins sujets à caution. Ceci pour deux raisons : d'abord l'absence de points de contrôle très précis, ensuite l'influence du relief. Il nous semble bon d'effectuer nous-mêmes des traitements de redressement géométrique.

Les traitements généralement utilisés dans les outils SIG utilisent des « points de contrôle » :

- avec un point on peut faire l'affectation des coordonnées du pixel correspondant sur l'image. On effectue alors une translation ;

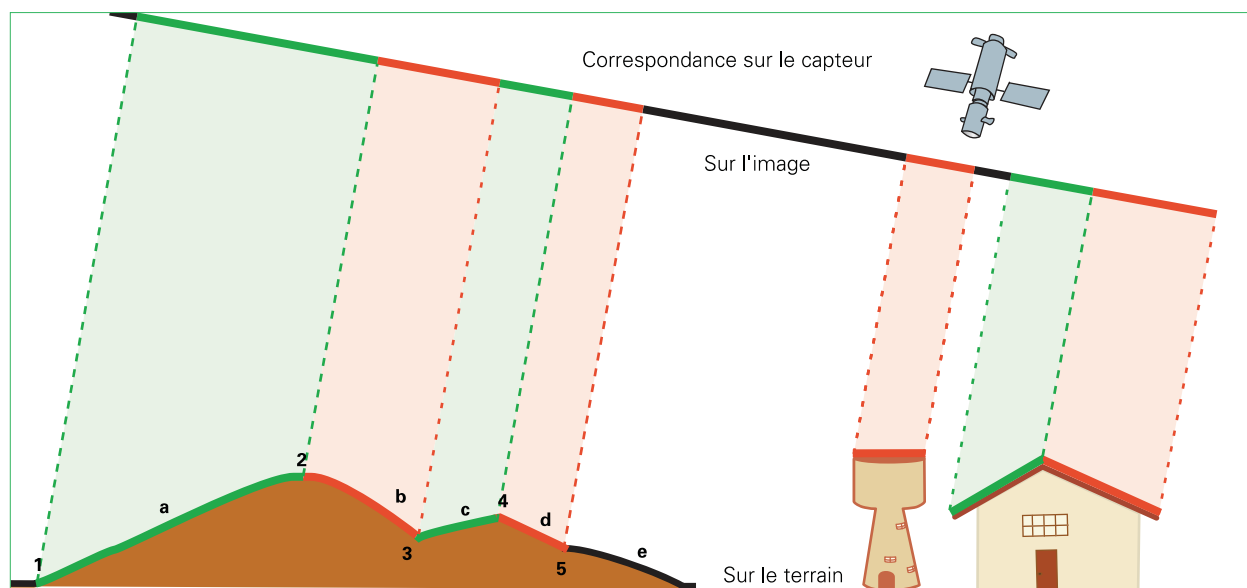
- avec deux points on va pouvoir effectuer une rotation ;
- avec trois points on pourra, en plus, modifier l'échelle différemment en x et en y par une transformation polynomiale de degré 1. L'algorithme commence par calculer la taille de la matrice d'arrivée nécessaire pour contenir tous les pixels puis affecte pour chaque pixel de la nouvelle matrice la valeur correspondant au pixel de la matrice de départ qui est le plus proche du point calculé. Il est donc possible que des pixels soient répétés, d'autres oubliés. Pour pallier cet inconvénient dont l'occurrence augmente quand on change trop fortement l'échelle, on utilise des interpolations bilinéaires ou bicubiques.

Image avant et après redressement



Dans le cas présenté ci-contre l'algorithme effectue la même transformation sur l'ensemble de l'image. Cela peut être suffisant pour une image d'un terrain plat prise verticalement car dans ce cas le modèle de déformation peut être uniforme. Mais la plupart du temps, nos images sont prises obliquement et le terrain comporte des pentes. Le terrain est alors déformé localement. Les portions dont la pente est face au capteur (en rouge) sont allongées, les autres (en vert) sont rétrécies.

Schématisation des effets du relief sur la prise de vue



Nous avons dans ce cas non pas un seul modèle de déformation mais plusieurs. Si nous avons des points de contrôle, (notés 1, 2, 3, 4, 5 sur le croquis), nous pouvons construire des triangles à l'intérieur des-

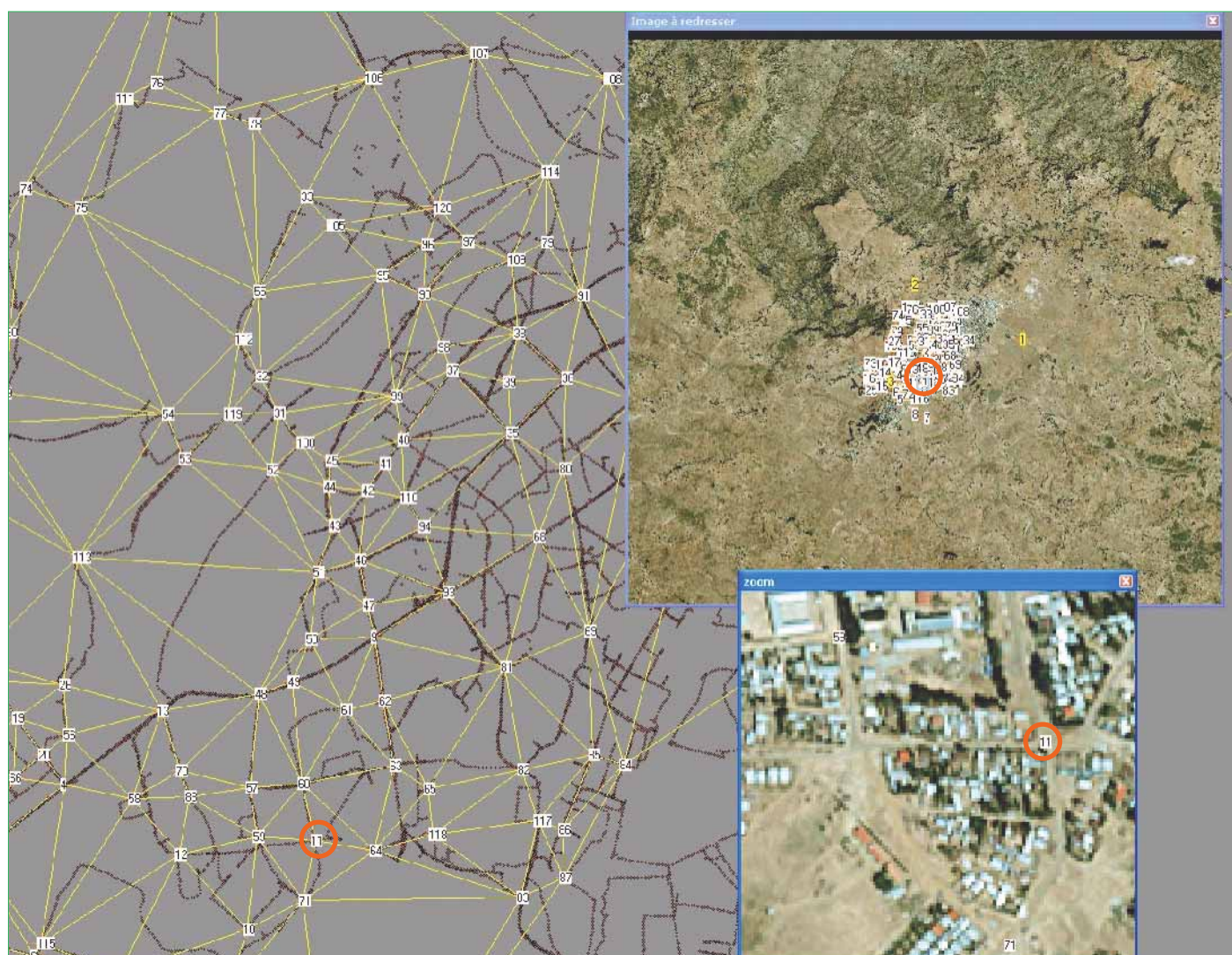
quels nous allons appliquer une formule – spécifique à chaque triangle – dont les paramètres sont déterminés par les coordonnées de ses trois sommets.

Cette méthode de recalage par tessellation demande d'avoir des points de contrôle aussi nombreux que possible. En théorie, ils doivent être plus nombreux lorsque le relief est important car il induit des déformations nombreuses. Ces points seront fournis par les intersections des traces GPS ou les objets isolés que nous avons relevés (voir fiche 14).

Ces points jouent le même rôle que les clous utilisés pour tendre une peau d'animal pour séchage.

Il est donc possible d'intégrer, de rectifier les déformations locales. La méthode demande cependant une grande prudence. Il faut écarter tout point qui peut sembler douteux. Pour cela, il faut se référer à l'image de la déformation produite. Celle-ci ne doit pas comporter de pics de déformation erratique et elle doit refléter globalement l'image des pentes (voir la séquence vidéo).

Méthode de recalage par tessellation



○ Point de calage repéré à droite sur la carte géoréférencée des levés GPS à gauche en bas sur l'image

(Séquence vidéo SavGIS)

Fiche 18

Géoréférencer une carte

Ceci est une image raster de la carte topographique au 1 : 50 000 de la région de Debre Birhan (Éthiopie). Il s'agit d'une photographie réalisée à l'aide d'un appareil photo ou une caméra numérique d'amateur. Elle présente donc de nombreuses distorsions (plu-

res et déformation du papier, obliquité de la prise de vue). Mais nous avons de nombreux points de contrôle : l'ensemble des croix correspondant au carroyage du graticule * imprimé sur la carte. Sur cette carte, nous en avons deux.

Exemple d'image raster issue d'une photographie numérique d'une carte topographique au 1 : 500 000 (Debre Birhan, Éthiopie)



Utilisation des informations de géoréférencement présentes sur la carte

Le premier carroyage, en noir, est exprimé en degré, minute (Datum Adindan Ethiopia). Le deuxième, en bleu, est plus serré et exprimé en coordonnées projetées en kilomètre (UTM zone 37) sur ce type de cartes (*attention : les coordonnées sont souvent tronquées à droite, c'est-à-dire seule la valeur kilométrique est indiquée*). Nous disposons donc largement de quoi faire une liste de points de contrôle.

Pour chacune des intersections des petits carrés bleus, nous allons créer un item dans le tableau des points de contrôle : ID, n° colonne image, n° ligne image, longitude, latitude.

Extrait de la carte ci-dessus

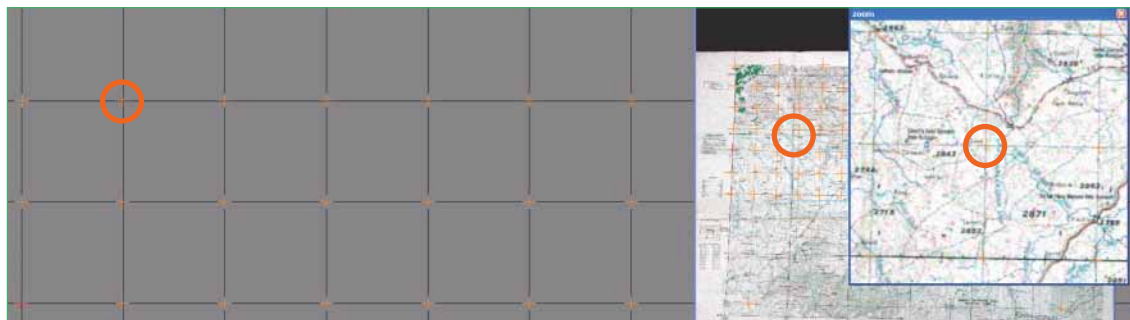


Géoréférencer les données

Par cette méthode, l'erreur faite au niveau de chaque point est de l'ordre de la taille du pixel de l'image (ici 40 m). L'erreur faite dans chaque triangle (tracés en jaune sur l'image ci-après) est du même ordre de grandeur.

On peut aussi créer cette liste en cliquant, à droite sur les croix bleues de la carte et à gauche sur les croix que constituent l'affichage des coordonnées métriques dans la projection utilisée.

Affichage de la matrice du graticule géoréférencé dans la projection utilisée et sa correspondance sur la photographie de la carte



Pour chaque carré délimité par les croisillons bleus, la tessellation va créer deux triangles que nous

avons visualisés en jaune sur la carte ci-dessous.

Triangles créés par la tessellation tracée sur la carte topographique

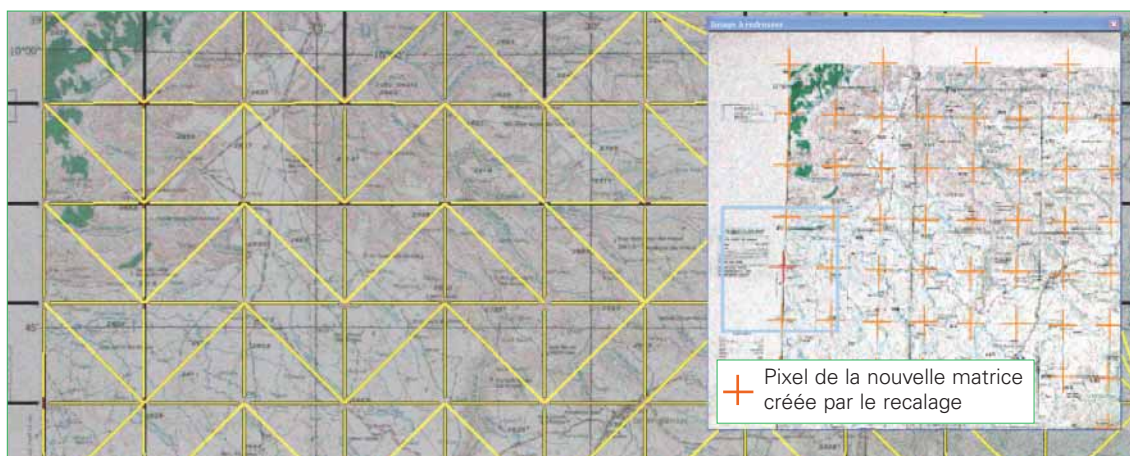


Image raster de la carte photographiée une fois recalée et géoréférencée



Le recalage crée une nouvelle matrice de pixels. Chaque lieu aura changé de coordonnées dans la matrice d'arrivée. On constate que les lignes géographiques sont maintenant très correctement positionnées. Si le traitement n'inclut pas la correction des ombres dues aux pliures de la carte, la déformation géométrique due à ces pliures est rectifiée.

Photo-interpréter une image

Aujourd'hui établir une carte à partir d'images satellitaires ou de photographies aériennes reste encore présenté comme quelque chose de difficile et complexe. « La photo-interprétation consiste à générer une donnée vectorielle à partir de photographies aériennes ou d'images satellitaires. Cette procédure est utilisée pour la réalisation de différents types d'inventaires : floristiques ou faunistiques, géologiques ou hydrologiques, plan d'occupation des sols... Ces inventaires, élaborés à l'échelle d'une commune comme à celle d'un pays, s'appuient sur un très lourd travail de recouvrement de données, de numérisation, la mise en place d'une symbolologie adaptée... » dit la société IGE (Information géographique et environnement). Elle en conclut : « Si vous disposez de photographies aériennes ou d'images satellites et que vous souhaitez en extraire de nouvelles données, IGE réalise, pour vous, vos travaux de photo-interprétation. » Dans les faits l'innovation technologique nous permet des résultats satisfaisants par une procédure extrê-

mement simple d'interprétation visuelle des images qui sont maintenant nombreuses.

Une image géoréférencée est une photographie. De même que l'on peut identifier visuellement des objets sur une photographie, nous allons nous en servir pour extraire les objets modélisés que nous avons décrits précédemment (voir fiche 4). Il faut travailler « naturellement » si tant est qu'il soit naturel de regarder les paysages d'en haut depuis une altitude considérable, encore qu'il n'y ait guère de différence entre une photographie prise à 500 m de hauteur et une à 800 km. Mais ce n'est pas hors d'atteinte : n'importe quel paysan reconnaît fort bien son terroir sur une photo aérienne. Tous les jeunes reconnaissent leur collège. N'importe qui reconnaît des objets sur une image satellite sans avoir besoin de recourir à des traitements mathématiques simples ou complexes. Il s'agit de reconnaître, d'identifier. Plus on connaît l'objet, plus on a de chance de l'identifier sur l'image.

Utiliser l'identification visuelle naturelle des objets géographiques

Nous allons donc suivre une démarche sensible et nous n'utiliserons que très peu les classifications radiométriques que l'on pratique sur des images ayant des pixels de grande taille. La couleur est un élément important dans une démarche d'identification. Lorsque la végétation apparaît clairement par sa couleur verte, la lecture de l'image est plus aisée. De même, pour le paysage urbain, une image multispectrale avec des pixels de 10 m est plus facile à interpréter visuellement qu'une image panchromatique avec des pixels de 5 m. Historiquement, les photo-interprètes travaillaient beaucoup avec des images en fausses couleurs, intégrant des longueurs d'ondes infrarouge et

traduisant la végétation en rouge. Actuellement, le travail s'effectue plutôt avec une traduction de couleur se rapprochant de la couleur naturelle. Mais nous ne travaillons que très peu sur la réflectance des objets ; ainsi l'opérateur qui ne dessinerait que les bâtiments à toits clairs, sous prétexte que c'est « globalement » une réponse standard fréquente, s'exposerait à des oublis tout à fait considérables.

Pour bien interpréter il faut prendre en compte les formes, les volumes ; identifier un objet, ce qui veut très souvent dire en comprendre la fonction ; pour cela nous utiliserons principalement l'interprétation des ombres.

Utiliser l'identification fonctionnelle des objets urbains

Comment allons-nous interpréter cet espace apparemment non bâti et situé au sein du tissu urbain de la ville d'Addis Abeba ? Il faut faire appel à nos connaissances générales. Pourquoi existe-t-il un

grand espace non bâti dans une ville où l'on manque d'espace pour construire ? Quelle fonction urbaine, quel équipement urbain cela évoque-t-il ?



Fabriquer la carte, extraire les données

Ancien aéroport, Addis-Abeba (Éthiopie). Extrait d'une image satellite multispectrale Quick Bird, pixel 60 cm, 2008



Il s'agit d'un objet du même type que celui de la photographie ci-dessous : l'image caractéristique d'un aéroport. La précédente est aussi celle d'un aéroport mais plus ancien et surtout, qui n'est plus en

activité quoique encore préservé. Il n'y a pas d'avion au sol, pas de marque sur la piste. L'image ci-dessous est celle d'un aéroport actif : on y voit facilement des avions et l'identification est immédiate.

Nouvel aéroport, Addis-Abeba (Éthiopie). Extrait d'une image satellite multispectrale Quick Bird, pixel 60 cm, 2008



Une amélioration du rendu de l'image est souvent utile ; elle permet une meilleure identification et un meilleur confort, comme le montre le jeu d'images ci-contre.

■ Ville de Kombolcha (Éthiopie)

Image Quick Bird d'origine, pixel 60 cm, 2005



Détail des images précédentes

Même image sur Google Earth



Amélioration des couleurs et des contrastes



Utiliser la rotation de l'image par rapport à l'angle de prise de vue original

■ Puy auvergnat, ballon alsacien ou cratère ?



Cette image montre *a priori* quelque chose comme une pustule étrange en forme de dôme : puy volcanique auvergnat peut-être...

La même image, une fois retournée, est interprétée comme un cratère comportant un picot central.



La première interprétation est due au fait que nous avons tendance à inverser le relief quand la lumière du soleil vient du bas de la photo. Nous inversons par réflexe car nous n'avons pas l'habitude que la lumière du soleil provienne d'en bas. Elle provient naturelle-

ment d'en haut. Pour nous, le soleil est toujours dans le ciel et pas sous nos pieds.

C'est pourquoi l'ombrage effectué par l'IGN sur ses cartes topographiques simule toujours un soleil positionné au nord, ce qui, en France, n'est jamais le cas.

Fabriquer la carte, extraire les données

Le Vatican à Rome (Italie) : bâtiment monumental ou place centrale ?



◀ Pour la même raison, sur l'image de gauche, nous avons tendance à interpréter ce grand cercle gris comme un grand et unique bâtiment monumental.

La même image retournée nous permet de mieux percevoir les ombres des bâtiments qui entourent ce qui est en fait une vaste place. ▶



Utiliser les facilités d'un logiciel de saisie graphique intégré à un SIG : Savidit in SavGIS

Utilisation de Savidit pour la saisie des valeurs d'un attribut



Quand l'identification est bien avancée et que nous avons établi la description à peu près exhaustive des différentes formes d'une collection d'objets, nous pouvons commencer la digitalisation, c'est-à-dire le tracé de chaque objet sur l'écran.

▶ Pour exemple, voici trois objets d'une collection « bâtiments ».

Chaque objet a un identifiant ou clé unique (voir fiche 24).

L'objet délimité en vert a pour identifiant 0045 et pour valeur de l'attribut « fonction » : résidentiel. L'objet délimité en bleu a pour identifiant 0044 et pour attribut « fonction » : industriel.

L'objet délimité en jaune a pour identifiant 0046 et pour attribut « fonction » : loisirs ou piscine.

Deux règles topologiques fondamentales sont à respecter :

- une ligne ne doit pas se recouper elle-même ;
- deux zones ne doivent pas se superposer.

Le système vous aidera à contrôler et à gérer ces deux règles de façon semi-automatique.

Commençons par traduire les implantations géographiques de type « point ». Par exemple dans le cas de la ville de Debre Birhan (Éthiopie), nous avons décidé de modéliser les lignes électriques comme

des ensembles linéaires de pylônes reliés entre eux. Pour saisir ces lignes électriques, nous allons donc procéder à la saisie des pylônes comme des points accompagnés d'attributs descriptifs.

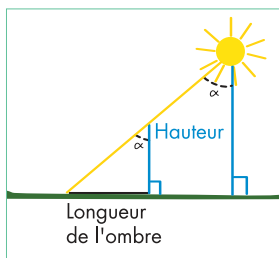
Pour bien visualiser Debre Birhan, nous avons fait « tourner » l'image de 90° dans le sens des aiguilles d'une montre. Ceci permet de placer les ombres sur le côté gauche ou au-dessous de l'objet, ce qui est une position plus facile à lire et interpréter pour notre œil. En effet, notre habitude de vision des paysages à partir du sol place toujours le soleil au-dessus de nous, en haut de l'image, et donc ne « lit » jamais une ombre « au-dessus » d'un objet.

Nous repérons assez facilement le château d'eau qui est légèrement déjeté vers la gauche. Son ombre, assez longue se projette aussi vers la gauche.

Cette même image, dans sa configuration standard (nord orienté vers le haut), est moins perceptible mais nous y retrouvons mieux les paramètres donnés par DigitalGlobe, fournisseur de l'image.



Nous pouvons estimer la hauteur du château d'eau par la longueur de l'ombre portée.



Exemple d'estimation de la hauteur d'un bâtiment

Élévation du soleil (donnée par Digital Globe) = 56,06°
 $\tan(\alpha) = \text{hauteur}/\text{longueur}$
 Hauteur du château d'eau = $\tan 56^\circ \times \text{longueur de l'ombre}$
 (mesurée sur l'écran puisque l'image est géoréférencée, soit 17,2)
 $\tan(56^\circ) = 1.4825609685127403$
 Hauteur estimée du bâtiment = 25,5 m
 Hauteur réelle du bâtiment = 27 m

Exemple des paramètres fournis par DigitalGlobe pour trois images sélectionnées

En surbrillance jaune les paramètres pour l'image de Debre Birhan

3 images meet your filter criteria

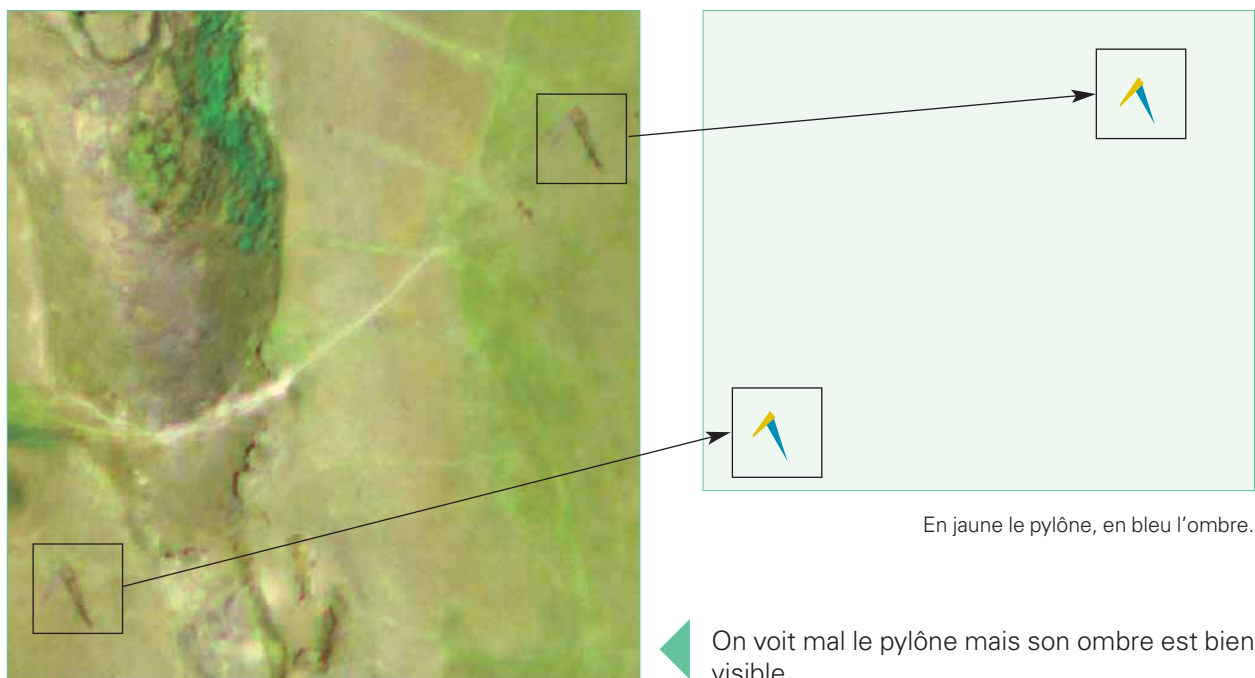
Select	Browse Image	Catalog Id	Sensor Vehicle	Acquisition Date	Total Max Off Nadir Angle	Area Max Off Nadir Angle	Area Min Sun Elevation	Total Cloud Cover Pct	Area Cloud Cover Pct	Imaging Bands
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> View	<input type="checkbox"/> 10100100076AD900	GB02	2007/12/02	22.88°	22.50°	56.06°	0%	0%	Pan_MS1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> View	<input type="checkbox"/> 1020010001D69200	W01	2007/12/14	9.27°	7.27°	50.57°	0%	0%	Pan
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> View	<input type="checkbox"/> 1020010002674600	W01	2006/03/14	14.93°	14.36°	62.36°	0%	0%	Pan

Nous voyons que la détection des pylônes se fait essentiellement par leur ombre portée, les pylônes eux-mêmes étant beaucoup moins visibles. Avec l'instrument de digitalisation sur écran nous pointons la base du pylône et nous affectons à chaque point un identifiant unique ; nous pouvons ajouter la

hauteur estimée. L'ensemble de cette collection de points nous indique le tracé de la ligne. Nous nous en servons pour repérer certains pylônes peu visibles même si leur espacement n'est pas forcément parfaitement régulier.

Fabriquer la carte, extraire les données

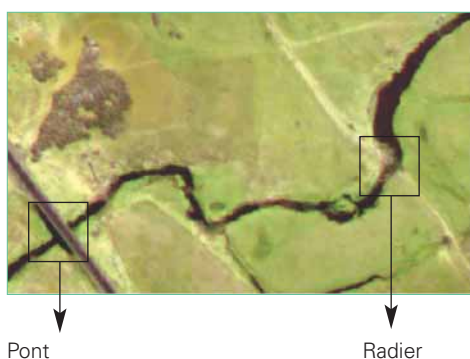
Identification des pylônes sur l'image Quick Bird, pixel 60 cm, 2007, Debre Birhan (Éthiopie)



Les points pylônes saisis sont ici représentés par des croix bleues sur le fond de l'image Quick Bird, pixel 60 cm, 2007



Les cas particuliers des ponts et des radiers



La détection des ponts s'effectuera de façon analogue, par l'ombre qu'ils créent lorsqu'ils traversent une rivière ; celle-ci est souvent bien marquée même lorsqu'il s'agit d'un ravin sec. On pourra aussi noter les radiers ou passages à gué. Il nous semble préférable de saisir ces objets sous forme de points et non de ligne, car la longueur de l'ouvrage est délicate à déterminer sur les images. On pourra faire en sorte que le schéma de la collection puisse intégrer les radiers et les passages à gué soit comme attribut, soit comme collection spécifique.

Nous proposons de modéliser la voirie comme une collection de lignes de flux. Les attributs à lui associer peuvent être nombreux : sens ou double sens, largeur estimée, type de revêtement, présence de réseaux... Il semble alors plus efficient de saisir la voirie non pas sous la forme de zones mais de segments.

Une voie a souvent une largeur réglementaire à tel point que des bâtiments situés en lisière peuvent être frappés d'alignement et détruits. Nous pouvons inclure cette largeur dans le schéma des voies. Sur des images de type Quick Bird, nous devons interpréter, deviner, reconstruire l'identification de la fonction de passage. Par exemple sur l'image ci-jointe, un arbre et son ombre interrompent la visibilité du tracé de la voirie. Nous pouvons y pallier et tracer ce tronçon.

Il est sans doute préférable de saisir, de tracer toutes les portions qui paraissent être en liaison : sentier piétonnier ou muletier, escaliers... Il s'agit de construire, de décrire un réseau. Il est donc primordial de bien noter les connexions. Le tracé s'effectue en s'efforçant de suivre la ligne médiane. Les attributs permettront de différencier les types de voies (asphaltée, en terre, escaliers).

Dans la pratique, il faut bien intersecter les voies. Le mieux est d'utiliser si nécessaire une fonction de division des segments sur les intersections créées pour assurer et confirmer leur création, puis supprimer les segments résiduels inutiles. Cela est beaucoup plus efficace que de « viser » le trait à intersecter sous peine de risquer de ne pas « couper » effectivement la voie précédemment tracée. Le segment en trop pourra ensuite être facilement supprimé. Il faut aussi bien faire attention à ne pas créer de boucle pour un même arc*. Dans le cas de l'image ci-dessous, il faut supprimer au moins un point.

Exemple de procédure :

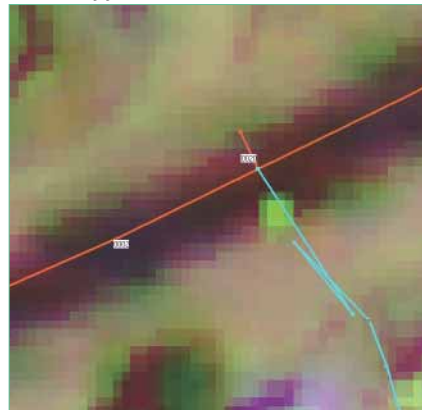
- commencer par tracer les voies en mode « spaghetti » en intersectant largement les voies qui présentent une connexion (étape 1) ;
- diviser ensuite les arcs sur leurs intersections (étape 2) ;
- effectuer ensuite le nettoyage des segments superflus (étape 3).

Quand le tracé est terminé, on peut ré-attribuer un identifiant pour chaque segment.

Voirie saisie sur image Quick Bird, pixel 60 cm, 2007, Debre Birhan (Éthiopie)



Exemple de boucle sur un arc intempestive et à supprimer



Étape 1 : tracer les voies en mode spaghetti



Fabriquer la carte, extraire les données

Étape 2 : diviser les arcs sur les intersections



Étape 3 : identification et suppression des segments superflus



○ Exemple de segment superflu, puis éliminé



Le cas particulier des escaliers de liaison entre 2 voies carrossables



Quelques difficultés autour des intersections en milieu urbain

Dans le cas ci-joint, nous n'avons pas relié les deux segments de rue car un escalier impraticable pour les voitures se trouve entre les deux. Dans ce cas, notre modèle « voies de communication » n'intègre pas les escaliers. Les escaliers seront réunis dans une autre collection d'objets, dénommée par exemple « passages piétonniers ».

Mais si on choisit de rassembler toutes les voies en une seule collection « voies de communication », il faudra ajouter cet escalier comme un segment spécifique, accompagné d'un attribut spécifique permettant d'indiquer son caractère piétonnier. Il faut absolument le différencier des deux rues caractérisées par leur accessibilité automobile.

La voirie est sans doute le premier élément à cartographier et à saisir. Cette saisie pourra se faire avant même tout recalage : son tracé permettra en effet de mieux planifier ensuite les levés au GPS. Le passage sur le terrain pour réaliser ces levés permettra à son tour de repérer puis corriger certaines erreurs de connectivité faites lors de la saisie de la voirie.

La voirie servira ensuite comme une ossature permettant de repérer et dessiner les autres éléments urbains.

Pour pouvoir identifier la voie, on créera un nouvel attribut identique (par exemple, le nom de la rue) caractérisant tous les segments constituant une rue de même appellation.

Ce tracé complet et corrigé permettra ensuite la mise en place techniquement facile d'un système d'adressage. La difficulté est alors utilement réduite à la seule dimension politique, toujours délicate dans la création officielle de tels systèmes d'identification foncière.

Saisir les îlots ou pâtés de maison

L'îlot est l'unité territoriale de base utilisée par exemple en France par l'Insee pour le recensement général de la population. C'est la plus petite surface délimitée par des voies (publiques ou privées), des obstacles naturels ou artificiels (rivière, chemin de

fer, etc.) ou par la limite non visible entre deux communes (entre deux territoires administratifs officiellement distincts).

Deux démarches sont possibles pour saisir les zones « îlots ».

Méthode de saisie des îlots par détournement manuel exhaustif

La première méthode est de tracer manuellement des zones contournant les clôtures, les limites de la voirie. On détermine ainsi des blocs d'habitation

qu'aucune voie de passage ne traverse ni ne divise en deux. On peut se reporter à la *fiche 23* (le bâti) pour les détails de la saisie de zones.

■ Extrait de l'image Quick Bird, pixel 60 cm, 2007, Debre Birhan (Éthiopie)



■ Tracé manuel des contours de zones



Méthode de saisie des îlots par détournement semi-automatique

La seconde méthode consiste à utiliser l'étroite dépendance qui existe entre la délimitation des îlots et le tracé de la voirie urbaine pour automatiser en partie le tracé des îlots. Pour cela nous allons exploiter les informations déjà existantes sur la voirie urbaine dans la base de données. C'est aussi pourquoi nous préconisons dans toute démarche de cartographie rapide de commencer d'abord par la saisie de la voirie urbaine, toujours avant les îlots.

Dans la plupart des logiciels SIG nous trouverons une fonction qui permet, à partir du « tracé linéaire squelette » de la voirie, de la représenter en fonc-

tion de son attribut ou variable « largeur » (image ci-dessous à gauche). Nous pouvons créer des zones correspondant au négatif de cette voirie. C'est-à-dire tout ce qui, dans le tissu urbain n'est pas la voirie ; ce qui correspond assez bien à la définition de nos îlots. Il reste à attribuer un identifiant unique à chacun de ces îlots (*voir fiche 24*).



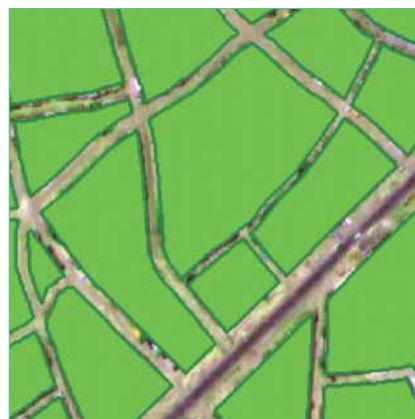
Fabriquer la carte, extraire les données

Tracé de la voirie principale et secondaire avec une épaisseur



Le tracé de la voirie, en respectant une largeur standard différente pour les voies principales et secondaires, permet de figurer en négatif le contour des îlots urbains. Ensuite, il suffit d'inverser le remplissage zonal pour obtenir la forme des îlots.

L'inversion du remplissage donne la forme des îlots



Nous voyons d'une part que le résultat dépend de la qualité de l'estimation de la largeur des voies précédemment effectuée, d'autre part qu'il faudra ajouter manuellement les limites d'îlots qui ne sont pas des rues, mais le bord d'une rivière par exemple. Cette

méthode permet de travailler ensuite par ajustement plutôt que par saisie exhaustive. Cette méthode par ajustement s'avère moins exigeante tant en termes de minutie, que de rigueur et de temps.

Qu'est-ce que le « bâti » ? Il est possible de donner bien des définitions différentes. La première étape est donc d'établir le schéma de cette collection. Vaut-on y inclure tous les objets qui sont bâtis par l'homme ? Piscines, murs de séparation, parkings bétonnés, etc. Cette définition doit tenir compte dans le même temps de l'utilisation qui sera faite de la donnée et des possibilités d'identification sur l'image. En fait, il est plus utile de créer, de définir les collections d'objets d'après leur fonction. On peut considérer que les pylônes électriques sont des objets bâtis, cependant leur fonction et, de ce fait, les attributs descriptifs de ces objets qui nous sont utiles, sont différents des attributs utiles qui caractérisent un local d'habitation. On voit bien qu'il faut faire le choix entre une collection large comportant de très nombreux attributs et un ensemble de collections plus restreintes où chaque objet sera décrit par des

attributs plus spécifiques à son groupe. Par exemple, nous conseillons de créer une collection « immeubles » regroupant toutes les constructions en hauteur (de un niveau et plus) quel qu'en soit l'usage, en créant des collections différentes pour les autres objets bâtis (parking, voie asphaltée, mur, pylône, terrain de jeu, etc.).

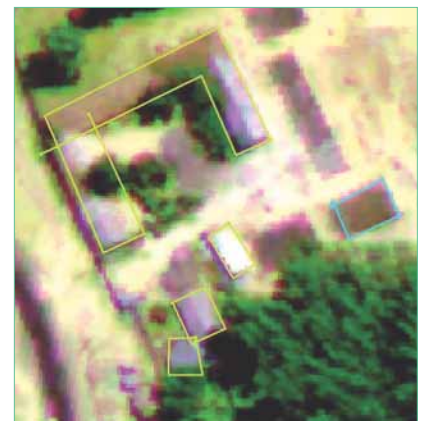
On pourrait aussi saisir les habitations comme des objets ponctuels. L'inconvénient serait alors d'avoir à créer un attribut descriptif pour introduire la surface comme caractéristique de chaque objet, mais cela reste tout à fait possible. Cependant, avec les images dont nous disposons actuellement (les satellites THRS ou les photos aériennes) il est possible de saisir, tracer l'objet comme une zone. Nous aurons ainsi, automatiquement, la surface. Nous pourrions calculer des densités d'occupation du bâti et par la suite des densités d'occupation humaine par mètre carré.

Saisie des zones sur image Quick Bird, pixel 60 cm, 2007, Debre Birhan (Éthiopie)

Sur cette image, des zones bien rectangulaires sont visibles. Ce ne sont cependant pas des bâtiments car elles ne s'accompagnent pas d'ombre. L'absence d'ombre signifie l'absence d'élévation de l'objet construit.

Nous devons aussi décider, discuter au préalable quelle est la taille minimale pour laquelle un « immeuble » est pris en compte.

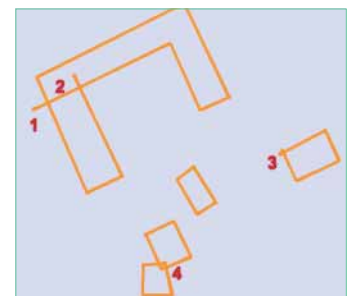
Un bâtiment sera donc une « zone » composée d'une liste des arcs nécessaires à sa fabrication topologique. Nous tenterons de faire la différence entre deux maisons très proches l'une de l'autre, mais cependant isolées et deux maisons mitoyennes. Pour les premières, les arcs n'appartiendront qu'à une zone. Pour les secondes, il y aura au moins un arc de séparation qui sera commun. Les arcs communs ne seront pas répétés. Une des règles topologiques est que si un arc peut appartenir à deux zones à la fois, il ne peut en aucun cas appartenir à trois zones.



Méthode assurant une bonne fermeture des zones au moment de la saisie

Comme pour les rues il faut intersecter les arcs, amplement (cas n° 1). Exemple d'arc unique séparant deux bâtiments : cas n° 2.

Il faut prendre en compte les règles topologiques de simplicité d'arc (cas n° 3), de non-superposition de deux objets (cas n° 4). Il vaut mieux le faire dès le tracé car si les corrections sont toujours possibles ensuite, elles s'avèrent toujours longues et très fastidieuses car le nombre d'objets saisis pour une ville est toujours important. Ce nombre complexifie énormément la plus simple des procédures.



Fabriquer la carte, extraire les données



Zone saisie avant nettoyage des arcs superflus

Une fois les zones créées, c'est-à-dire une fois que pour chacune d'elles on dispose bien de la liste des arcs qui la compose, bien associés à un identifiant de zone unique, nous pourrons :

1 - effectuer le nettoyage

Ce nettoyage se fera automatiquement ; par exemple, enlever automatiquement tous les arcs inutiles (en jaune sur l'image).

Premier type d'erreur de saisie : le bouclage d'un arc sur lui-même

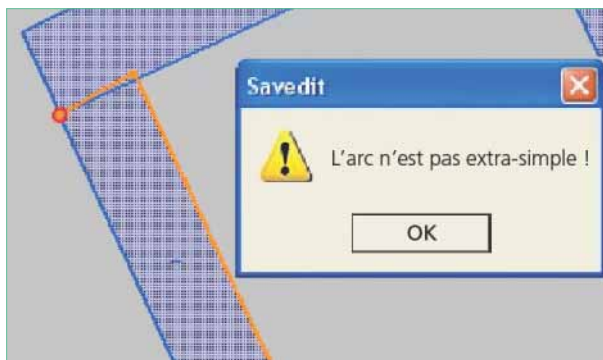
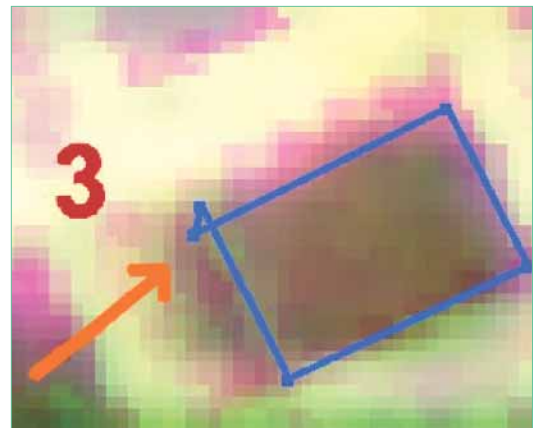
2 - vérifier et corriger les erreurs topologiques que le système ne peut pas corriger de lui-même sans que cela ne soit préjudiciable.

Ces erreurs sont principalement au nombre de trois :

- la non-simplicité des arcs

Voici l'exemple ci-joint d'un arc non simple, faisant une boucle sur lui-même (pointé par la flèche).

Le système aura du mal à décider ; la correction manuelle est requise.



Deuxième type d'erreur de saisie : le croisement contradictoire de deux arcs

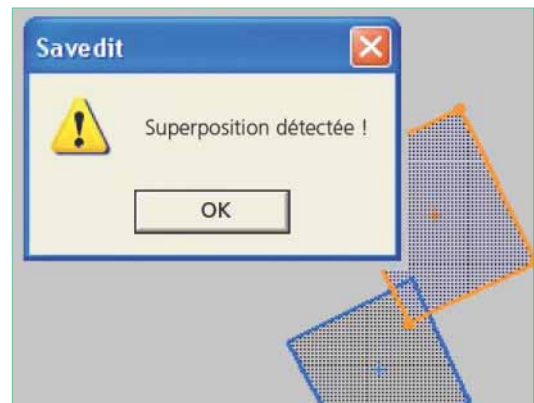
- la non extra-simplicité des arcs

Voici un exemple ci-contre de deux arcs qui comportent une contradiction. Si on laissait le tracé en l'état, l'arc déterminerait deux zones se recouvrant en partie. Le système aura du mal à décider ; la correction manuelle est requise.

Troisième type d'erreur de saisie : le recouvrement partiel de deux zones qui en crée une troisième

- la superposition de zones

Voici un exemple ci-contre de deux zones qui se recouvrent en partie. Le système nous montre une des deux zones en la coloriant en orange mais il a du mal à décider par lui-même. La correction manuelle est requise.



La codification hiérarchique

Imaginons que nous désirions saisir tous les bâtiments de la ville éthiopienne de Awash. Il existe 21 469 bâtiments connus à Awash. Nous voulons avoir un identifiant unique par bâtiment. On peut fort bien coder ces objets entre 00001 et 21469 par exemple, sachant que l'on saisit souvent par portion d'espace et que du coup il y a une certaine correspondance entre des séries continues de codes et leur localisation dans des zones géographiques proches. Mais dans ce cas, un bâtiment que nous aurions oublié au début du travail, ou bien qui aurait été construit depuis le dernier recensement, va se retrouver avec un code du type 21470 alors que géographiquement il se trouve localisé au milieu des bâtiments préalablement codés entre 00001 et 000021. Il faut alors tenir une liste en parallèle avec tous les nouveaux codes déjà attribués à tous les nouveaux bâtiments construits et rencontrés un peu partout car ceux-ci sont dispersés sans qu'on puisse facilement les repérer. Ils échappent largement à la correspondance entre série continue de codes et localisation géographique en proximité sur la carte. Dans ce cas, éviter la création de doublons implique une stratégie un peu complexe de recodification.

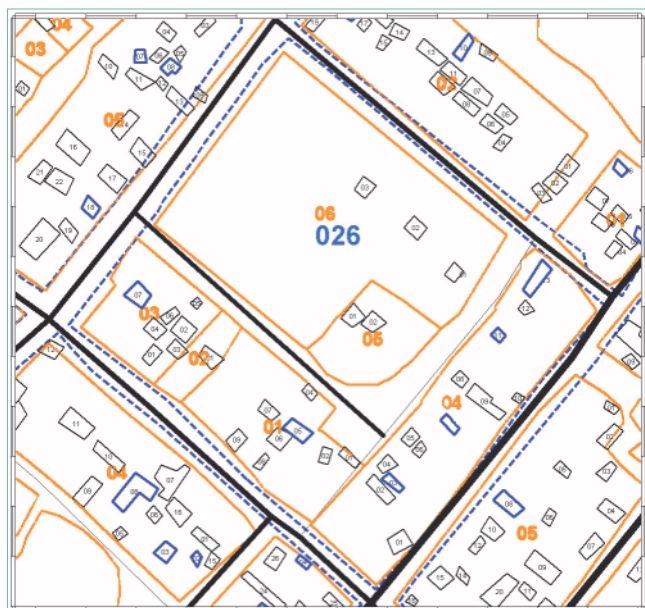
L'Insee et la DGI* française utilisent une méthode semblable pour la codification qui résout ce problème et simplifie avantageusement l'ajout de parcelles nouvelles. C'est la codification géographiquement hiérarchisée.

Par exemple, en France le n° de code du bâtiment 02614102003324 signifiera bâtiment 24 de la parcelle 0033, section 02 commune 141 (Gigors), département 26 (Drôme). Il faut bien voir cependant qu'en France, à l'échelle plus fine des objets urbains, une pluralité de codes reste de mise. Par exemple, la DGI et l'Insee n'ont pas exactement le même code pour le même bâtiment. À chacun sa hiérarchie utile.

Le nombre global de logements pour une ville donnée peut être tout à la fois très élevé et très variable. Par exemple, une ville française de 50 000 habitants comprend en moyenne 20 000 logements, tandis qu'à une ville éthiopienne de même population correspondent en moyenne 10 000 logements. Ceci rend difficile une simplification et uniformisation des codifications comme des organisations des saisies ; par contre quel que soit le pays ou la taille de la ville, le nombre de logements par parcelle reste forcément limité, au même titre que le nombre de parcelles dans un îlot, ou encore que le nombre d'îlots dans une section ou un quartier urbain. Bien sûr, cette façon de procéder suppose le tracé préalable des différents niveaux emboîtés de découpage zonal. Si possible, ces niveaux devront être proches, sinon identiques à ceux retenus par le système cartographique national. Renseignez-vous car un tel système existe dans presque tous les pays même s'il n'a pas été implémenté partout sur le territoire. Cela n'est jamais bien utile de multiplier les codifications et mieux vaut utiliser celles qui existent déjà.

Exemple de données zonales, base de données Awash (Éthiopie), IRD ECSC, 2008

Dans cet exemple sur la ville éthiopienne de Awash, nous montrons trois codes emboîtés. Un code écrit en bleu correspond aux îlots dont les bords sont tracés en tireté bleu. On peut observer que la délimitation des îlots se fait par la voirie qui les contourne et que nous avons tracée ici en noir. À l'intérieur de l'îlot 026, nous trouvons six parcelles (tracées en orange). À l'intérieur de chaque parcelle, nous avons des bâtiments (tracés en noir). Dans la parcelle 04 (en orange), nous avons, à l'époque de l'image, treize bâtiments.



Fabriquer la carte, extraire les données

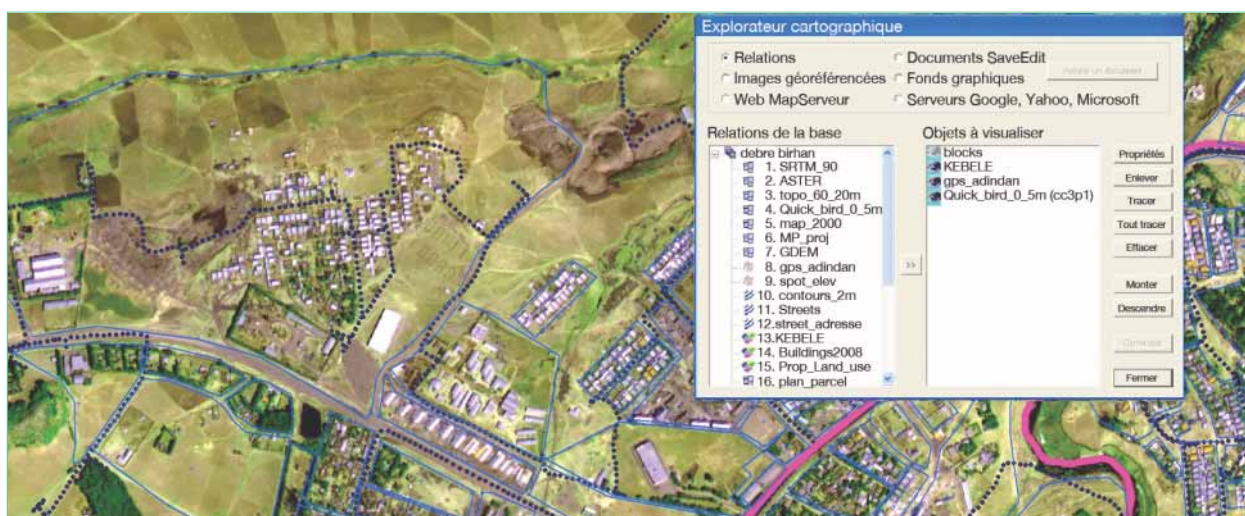
Dans la pratique, pour réaliser cette codification il faut avoir stabilisé le découpage hiérarchique en préalable à toute procédure de saisie de codification, c'est-à-dire avoir une claire définition géographique de chaque niveau et faire l'inventaire exhaustif des objets à partir des limites stables du niveau supérieur. On comprend là tout l'intérêt de l'outil SIG qui permet de saisir rapidement des cartographies des différents niveaux supérieurs emboîtés (arrondissement, îlot, parcelle) et de les visualiser en surimpression, ce qui facilite grandement le repérage des différentes zones et de leurs identifiants.

Expliquons un peu comment, pratiquement, cela se fait.

Prenons le cas de la ville de Debre Birhan pour laquelle il est difficile de tracer correctement un niveau « parcelles ».

Nous avons d'abord effectué le tracé des objets de trois niveaux, du plus large au plus fin, kébélé (arrondissement), block (îlot), building (bâtiment). Les identifiants ont été attribués séquentiellement automatiquement par le système.

Détail des 3 niveaux de zones (kébélé, block, building), base de données Debre Birhan (Éthiopie), 2008



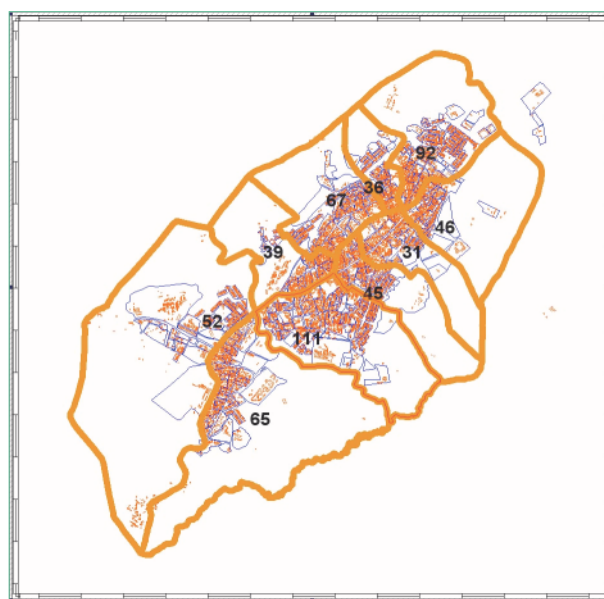
- Kébélé *En fond, image Quick Bird, pixel 50 cm, 2007*
- Block
- Tracés GPS

Les 3 niveaux de découpage (kébélé, block, building)

Nous avons tracé sur l'ensemble de la ville 587 blocks ou îlots et 13 571 buildings ou bâtiments. L'espace de la ville est subdivisé en 10 kébélés (arrondissements). À l'intérieur du kébélé 04, nous avons tracé 111 blocks. Le nombre maximum de bâtiments à l'intérieur d'un de ces blocks est de 191. Au vu de ce travail, nous avons donc besoin de :

- 2 caractères pour coder les kébélés,
- 3 caractères pour le code des blocks,
- 3 caractères pour le code des buildings.

Dans ce cas, l'identifiant complet et unique résultant, pour chaque bâtiment de la ville de Debre Birhan, sera composé de 8 caractères.

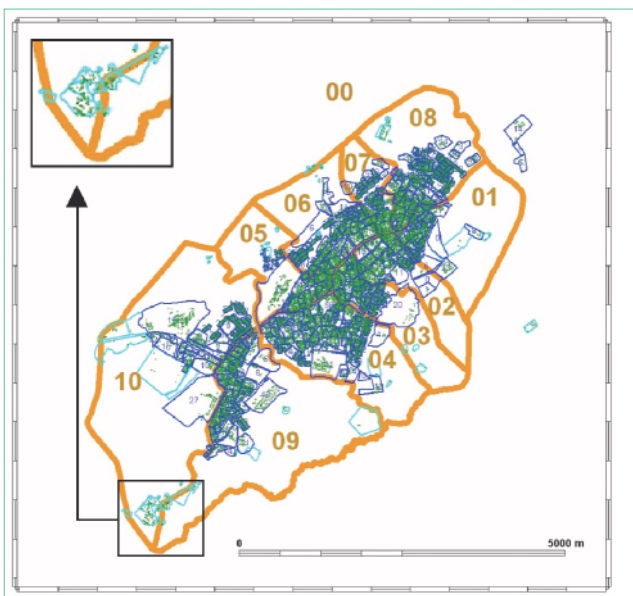


Source : base de données Debre Birhan (Éthiopie), 2008, IRD ECSC

Ci-joint le résultat de cette démarche de codification hiérarchique. On constate que :

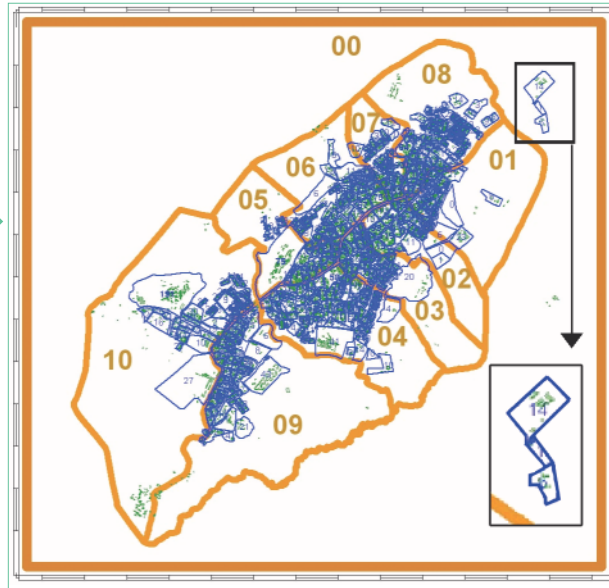
- des buildings existent sans être dans la limite administrative de la woreda (municipalité) de Debre Birhan. Si nous voulons les gérer, il nous faut ajouter une zone « hors_Kebeles » que nous pourrions par exemple coder 00 ;
- les limites de kébélés nous sont imposées par un découpage politique, elles ne viennent pas de l'image même si ces limites utilisent des éléments de paysage ;
- par contre, nous pouvons modifier la limite des blocks car ils n'ont pas d'existence légale et sont simplement définis par le terrain. On peut les créer à partir de l'image ;

Création des blocks oubliés



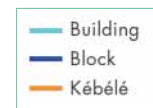
Source : base de données Debre Birhan (Éthiopie), 2008, IRD ECSC

Codification des blocks dans la zone « hors_Kebeles »

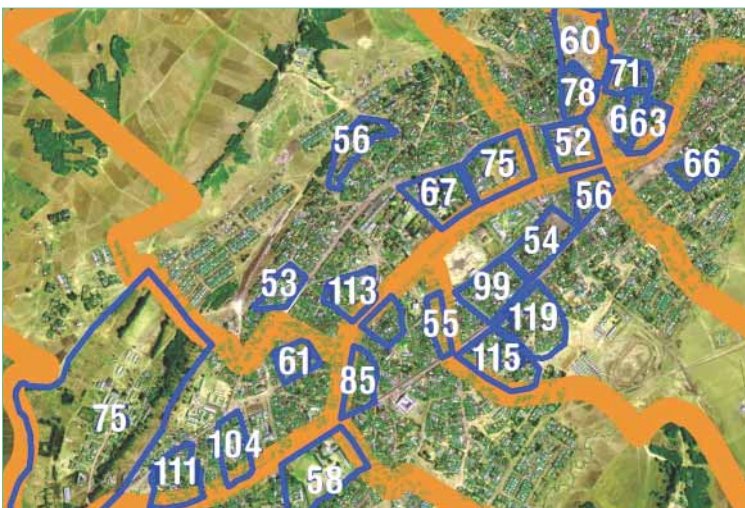


Source : base de données Debre Birhan (Éthiopie), 2008, IRD ECSC

- des bâtiments sont à l'intérieur de la limite administrative de la woreda mais ne sont pas à l'intérieur d'un block. Si nous voulons les gérer, il nous faut ajouter des blocks (visualisés ici en tracé bleu clair) ;



Affichage des blocks contenant plus de 50 bâtiments



- certains blocks s'avèrent contenir plus de 50 buildings (cf. figure ci-contre). Ce grand nombre d'objets peut être source de beaucoup d'erreurs lors du codage. Il nous semble utile de diviser ces blocks afin de faciliter la procédure de codage. En effet, réduire le nombre de bâtiments à coder à l'intérieur d'un block est un moyen très simple mais très efficace pour éviter oublis comme doublons ;

Source : base de données Debre Birhan (Éthiopie), 2008, IRD ECSC
En fond image Quick Bird, pixel 50 cm, 2007

Bâtiments et blocks à Debre Birhan (Éthiopie)



Source : base de données Debre Birhan (Éthiopie), 2008, IRD ECSC
En fond image Quick Bird, pixel 50 cm, 2007

- nous avons redécoupé certains blocks : le maximum de maisons dans un block est maintenant de 50 ;
- nous avons affiché les limites de chaque block (en rouge) ;
- nous pouvons commencer la codification hiérarchique en codant les buildings sur 2 caractères seulement et en repartant de 01 à l'intérieur de chaque nouveau block ;
- nous n'avons pas besoin de connaître l'identifiant du block car nous n'allons pas le saisir ;
- par contre, nous avons besoin de bien identifier les limites de chaque block de manière à bien cerner l'ensemble des maisons qui lui appartiennent et dont les codes composeront une nouvelle série, débutant au code 01 et se terminant au plus au code 50 ;
- le block tout en bas à droite ne contient qu'un building ; l'identifiant de celui-ci sera 01 et non pas 1 ;

- le block en haut à gauche comprend 16 buildings ; les codes 02 et 09 n'existent pas. Mais il existe aussi un code 16 car il n'y a aucune obligation de continuité dans le codage ;
- nous avons utilisé une codification numérique mais nous aurions pu tout aussi bien utiliser une identification alphabétique : AA, AB, AC, AD.... BA, BB, BC ;
- les maisons du block en haut à droite ne sont pas encore recodées, elles comportent la codification automatique par défaut qu'il reste donc à modifier ;
- si après avoir réalisé la nouvelle codification des maisons, il s'avère nécessaire de subdiviser un block en deux, modifier le code n'est pas obligatoire pour les buildings correspondant aux deux nouveaux blocks.

Le grand avantage de travailler avec un SIG est que nous n'avons pas à saisir pour chaque building l'ensemble du code retranscrivant la hiérarchie géographique, mais 2 caractères au lieu de 8... De nombreux risques d'erreur sont ainsi évités.

De plus, cette codification peut servir d'adressage zonal. C'est d'ailleurs le système utilisé en Éthiopie. L'adresse est : n° de woreda, n° de kébélé, n° de building.

Certaines questions que vous voulez traiter avec l'aide de données cartographiques peuvent nécessiter une information sur la végétation. Vous avez avantage à toujours bien distinguer les espaces herbacés de la végétation arborée dans votre modélisation. De la même façon, concevez votre modèle afin qu'il

traduise vos besoins en termes d'occupation du sol, par exemple qu'il y soit bien différencié les espaces bâtis, les espaces de parcs publics, les espaces horticoles, les espaces agricoles céréaliers, les espaces d'arboriculture...

Végétation sur l'image Quick Bird



Par exemple, à Debre Birhan, deux préoccupations municipales majeures justifient de faire figurer une information sur la végétation au sein de notre cartographie rapide : gérer les espaces arborés, répertorier et gérer les arbres.

- Une première solution est de **modéliser chaque arbre par un point**, auquel nous pourrions rattacher des valeurs pour des attributs de type espèce, diamètre du tronc, hauteur, etc. Cette solution risque d'être fastidieuse car les arbres sont nombreux. De plus, nous constatons que pour les haies ou les bouquets d'arbres il est difficile d'individualiser les objets.

Saisie des arbres en mode point



Objet saisi

- Une deuxième solution est de **saisir la végétation arborée sous forme de zone**.

Dans ce cas, on ne pointe pas le centre de la canopée mais on en trace le contour. L'individualisation des objets, figurée par l'affichage des identifiants, se fait par portion boisée continue.

Dans cet exemple nous n'avons pas terminé le contour de la haie qui se situe au sud-ouest de la portion d'image.

Saisie de la canopée en mode zone



Objet saisi

Source : base de données Debre Birhan (Éthiopie), 2008, IRD ECSC
En fond image Quick Bird, pixel 60 cm, 2007

Extraction de la canopée en mode pixel à partir de l'image



Objet saisi

- Une troisième solution, séduisante car le traitement va s'appliquer en quelques secondes sur toute l'image, est d'extraire les arbres par un simple seuillage des valeurs radiométriques de l'image Quick Bird.

Une macro-commande pourra enchaîner ces opérations :

- séparation des couleurs de la composition colorée,
- seuillage des valeurs, dans le cas présent : valeur du canal vert > 40 ET valeur du canal rouge < 25.

Cependant, ces traitements donnent des résultats souvent difficilement maîtrisables sans une très bonne connaissance et pratique. Il est en effet bien difficile de déterminer la limite entre ombre et feuillage ou celle entre pelouse arbustive et arbre.

(Séquences vidéo  *Digitaliser des courbes de niveaux à partir d'une carte au 1:50 000 à partir d'une carte au 1:2 000 Interpoler courbes de niveaux et points cotés*)

Les données d'altitude font partie de l'information nécessaire et utile sur une ville. Elles permettent de :

- visualiser le relief de notre espace,
- mieux comprendre et éventuellement planifier les réseaux d'adduction d'eau, d'évacuation et traitement des eaux usées,
- faire des calculs de visibilité (que voit-on à partir de tel point),
- calculer les pentes locales et réaliser une typologie des zones en fonction de leur viabilité à être urbanisées,
- cartographier les zones potentiellement inondables, etc.

Exemples de visualisation et cartographies permises par le traitement des données d'altitude



Vue vers le nord de l'image Quick Bird en perspective



Vue vers le nord-est de l'image Quick Bird en perspective



Vue vers l'est de l'estompage en perspective



Image des pentes de Debre Birhan. Leurs valeurs sont croissantes du noir au blanc



En rouge, les valeurs de pente nulles situées dans les bas-fonds

Source : Image Quick Bird, pixel 60 cm, 2007, ville de Debre Birhan (Éthiopie)

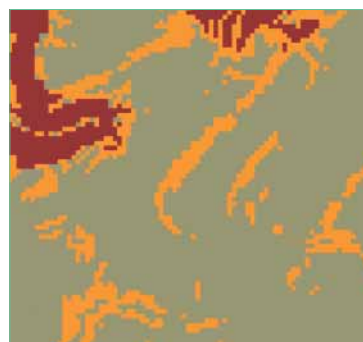
Ces données d'altitude peuvent être appréhendées sous forme de quatre types d'implantation géographique :

- des points. Ce sont les points cotés des cartes topographiques régulières, mais cela peut être aussi la valeur d'altitude donnée pour chaque point de relevé GPS,
- des lignes. Ce sont les courbes de niveaux qui relient les lieux de même altitude et qui sont tracées sur les cartes topographiques,
- des zones, plus rarement, car celles-ci ne sont que la traduction dégradée des deux types précédents,
- des matrices de pixels (raster) dont chacun possède une valeur d'altitude propre (SRTM-GDEM).

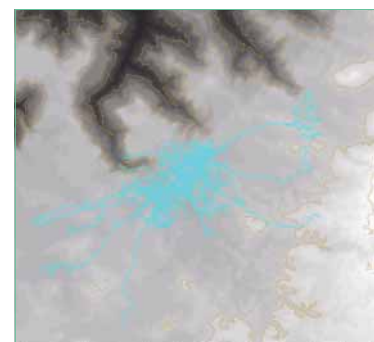
Les 3 formes de cartographie en 2 dimensions des altitudes



Points et lignes
 Courbe de niveau
 Point coté



Zones
 Zone d'altitude 1
 Zone d'altitude 2
 Zone d'altitude 3



Raster
 Zones d'altitude progressives d'après SRTM
 Tracé voirie Debre Birhan

En fond carte EMA au 1:2 000, Debre Birhan (Éthiopie)

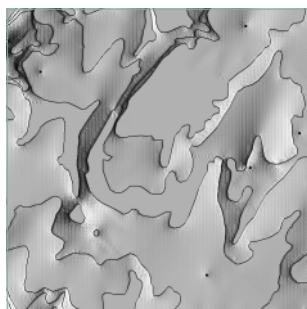
Source : Image Quick Bird, pixel 50 cm, 2007, ville de Debre Birhan (Éthiopie)

Fabriquer la carte, extraire les données

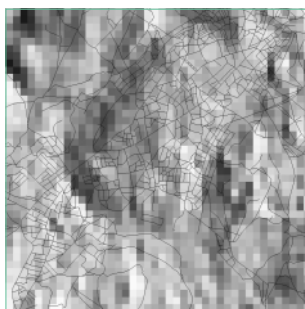
Les données sous forme de matrice raster (SRTM ou GDEM) sont des données déjà interpolées : les altitudes sont connues pour tous les pixels de la matrice. Interpoler consiste à faire la moyenne entre les points d'altitude connus et/ou les courbes de niveau présentes sur la carte à l'aide d'un logiciel de SIG (par exemple, SavGIS). La précision sera variable. SRTM

présente des valeurs par pixel de 90 m. GDEM nous donne des pixels de 30 mètres, ce qui est à peu près équivalent à ce que l'on peut obtenir avec les courbes de niveau d'une carte au 1 : 50 000. Les points cotés ou les points GPS sont peu utilisables sinon pour vérification car il faudrait qu'ils soient très nombreux pour qu'une interpolation soit valide.

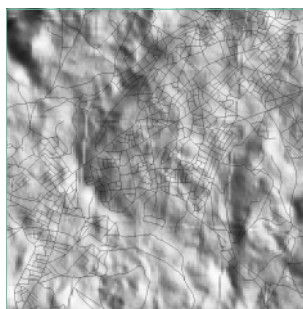
Visualisation des altitudes en estompage. Position du soleil simulé : nord-est



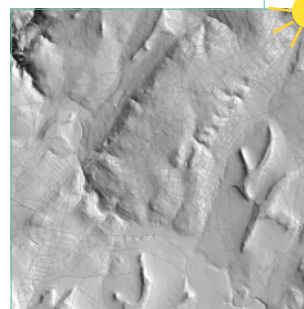
Altitudes via les courbes de niveaux de la carte au 1 : 50 000



Altitudes via SRTM. Pixel 90 m



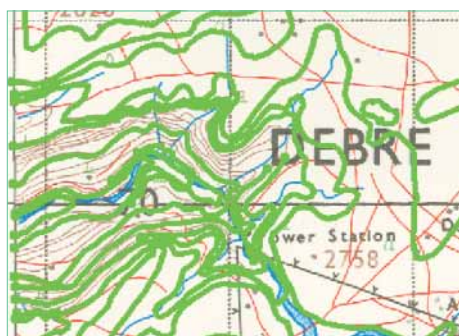
Altitudes GDEM. Pixel 30 m






Altitudes via les courbes de niveaux de la carte EMA au 1 : 2 000. Pixel 2 m



Saisie des courbes de niveaux à partir d'une carte topographique



-  Courbes de niveaux digitalisées
-  Routes
-  Rivières

En fond carte topographique EMA au 1 : 50 000

On affiche l'image raster de la carte topographique recalée, géoréférencée.

- On commence par tracer (en type lignes) les courbes maîtresses (tracé vert). Ceci permet de limiter les erreurs intempestives de passage d'une courbe à l'autre.
- On peut noter le décalage en latitude entre la couche « courbes » et la couche « rivières » qui est dû aux erreurs de l'impression.
- Lorsque les courbes sont parallèles et très serrées, il n'est pas indispensable de les digitaliser car le résultat de l'interpolation ne sera pas meilleur.
- On utilise la vision en estompage pour détecter les erreurs. Pour cet estompage, préférer un soleil simulé venant du nord-est, car c'est ce qui permet la meilleure vision du relief. Il faudra prendre quelques précautions avant d'utiliser de façon conjointe les altitudes provenant de sources différentes ; en effet, la référence de l'altitude zéro n'est pas identique pour toutes.

Voici quelques valeurs d'altitude (en mètres) sur l'exemple de Debre Birhan :

	SRTM V1	SRTM V4	GDEM	Carte 1 : 2 000
Point 1	2 753	2 754	2 758	2 772
Point 2	2 827	2 825	2 823	2 846
Point haut	2 829	2 852	2 847	2 882
Point bas	2 596	2 539	2 533	2 543

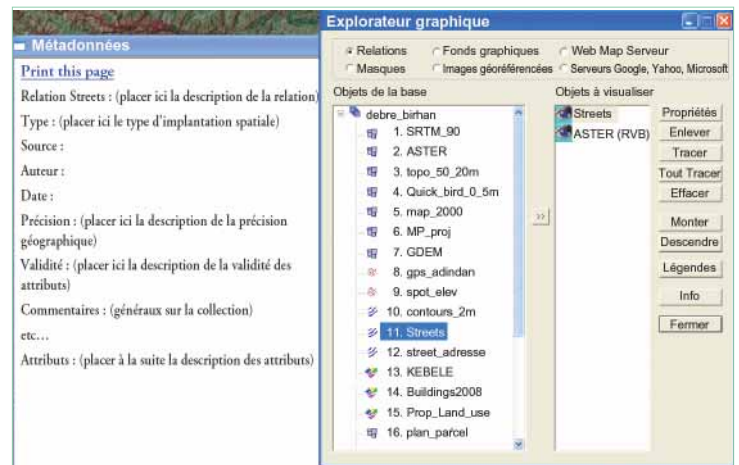
La légende ou dictionnaire des données

Cette fiche, présentée en fin de manuel, décrit cependant un important travail qu'il faut mener du début à la fin de la démarche. De la même façon qu'une carte thématique devrait toujours comprendre une **notice**, notre base de données doit comprendre une description précise de chacun de ses éléments : un **dictionnaire**. Ce dictionnaire est souvent appelé « métadonnées », terme qui nous semble un peu impropre car méta insinue la signification de « après, au-delà, à côté » et tend à minimiser l'importance de cette description première et qui doit être faite au préalable. Il s'agit de la description précise des données : la description des différents attributs attachés à la collection mais aussi la source, la date de création, la méthodologie, etc.

C'est pourtant souvent le travail que l'on élude car il est difficile et ingrat. Décrire tous les paramètres et toutes les décisions prises n'est pas facile car beaucoup d'entre elles sont implicites. Elles semblent en effet évidentes au moment de la décision. Mais, comme le dit Marc Leobet* (membre du Conseil national de l'information géographique, CNIG* ; <http://georezo.net/blog/inspire/>), « *Toutes les questions non posées au moment de la saisie/production poseront problème au moment du catalogage.* » Heureusement, la plupart des logiciels offre des aides pour renseigner la donnée. Mais il n'empêche que la description devra être introduite par l'opérateur. La fenêtre ci-contre est proposée par SavGIS au format HTML. SavGIS crée deux types de fichiers : un

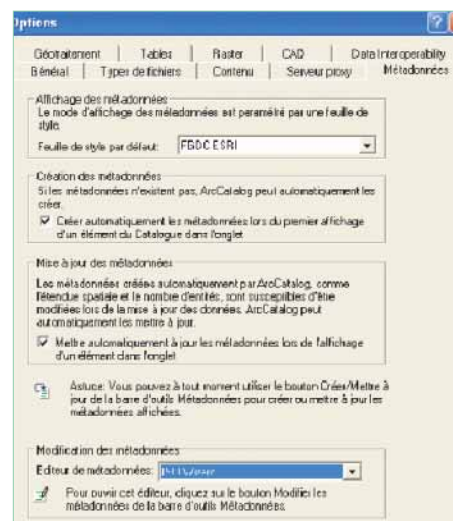
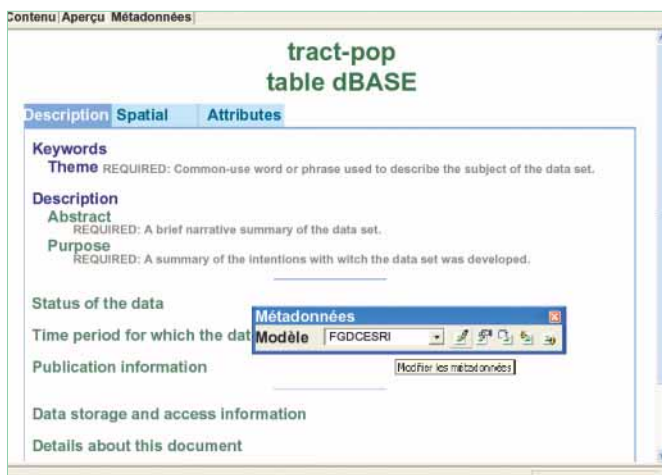
fichier décrivant sommairement l'ensemble des couches de la base de données, et un autre fichier individuel pour chacune des couches. Ces fichiers sont stockés de façon standard dans un dossier créé automatiquement et qui fait partie intégrante de la base de données. Cette description est accessible par un clic droit sur l'intitulé d'une couche donnée dans l'explorateur cartographique pour chacun des modules. Compléter chaque fiche se fera facilement avec un éditeur tel que le logiciel gratuit Open Office.

Une fiche de métadonnées réalisée avec SavGIS



Source : base de données Debre Birhan

Module en 3 fiches de métadonnées avec ArcGis (un onglet = 1 fiche)



ArcGIS propose un choix important de feuilles de style en différents formats.

Légènder la carte, actualiser les donnèes

Ces fiches sont capitales pour toute utilisation par quelqu'un n'ayant pas participé au travail d'élaboration des données mais aussi pour toute utilisation ultérieure, y compris par le créateur. Six mois après le travail, on ne se souvient plus très bien des décisions prises au départ, car beaucoup l'ont été de façon implicite. Par exemple : la taille minimum des bâtiments reconnus en tant que bâtiments. L'ensemble de ces fiches pourra être publiée sur le Web car il ne s'agit pas des données elles-mêmes mais uniquement de leur description. Cette publication peut s'effectuer facilement même en cas de problème de droit concernant les données. Le ou les propriétaires de la donnée doivent être indiqués précisément dans chaque fiche.

Faire précéder ces fiches descriptives d'une page d'introduction permet de donner une vision rapide, quoique incomplète, du contenu de la base. Elle doit présenter des renseignements sur les conditions de création de celle-ci, mais aussi sur les données générales importantes. Par exemple, bien y faire figurer le système géodésique utilisé. Cette information est indispensable d'autant plus qu'à l'heure actuelle aucun logiciel ne permet un changement de système géodésique rapide. Le passage légal du système français NTF* (Nouvelle triangulation de la France) au RGF93* (Réseau géodésique français adopté à partir du 1^{er} janvier 1993 à 0 h) a demandé plus de dix ans pour être effectif.

Page d'accueil du dictionnaire de la base de données de Debre Birhan

DEBRE BIRHAN GEOGRAPHIC DATA BASE DICTIONARY
Bernard Lortic and Zewdu Alebachew
and the team "land use preparation" of the municipality :
Dereje Kura, Muluken, Gizachew, Emanot and Asfaw
December 15, 2008 -- Addis Abeba

The geodetic system
for all the data base is the ethiopian standard system used by the Ethiopian Mapping Authority :
Ellipsoid Clarke 1880 Modified - Datum Adindang

Raster data
SRTM -- TM
Aster Image -- Aster bird satellite image
Base Map -- MP_proj

Vector data
Streets
Buildings (2008) -- Building_95
Contours
kebele (1995)
prop land use (1995)
Blocks
Schools
Rivers

GPS data
GPS points
Spot elev

The Base Map
The base Map of Debre Birhan which is from FUPI, (22 streets - scale 1:2000) added to the data base relation of Debre Birhan after it has been processed into our software. The process includes:
1- scanning all the topo, sheets and connecting them, with grids at each interval as the guide of the topo_sheet in a big process
2- because we have a very few number of control points GPS, we rotate the base map with one control point and a second one to determine the value of rotation, whenever, we did this we found that the base map was prepared according to the standard reference system.
3- The base Map contains the streets, the buildings, the contour lines and other features

STREETS
Zewdu draw the streets on an unrectified image, after the file was rectified on the panchromatic image, name of the file : Streets_20080724R.csw

Building_95
from the base map of FUPI
We didn't digitize these building. This is the result of a Elicse Mesal municipality worker. Master "9989988". He gave a file in DXF format. We just export (Export description) and rectified. The code of the buildings are provisional.

C'est sur ce dictionnaire que s'appuiera la légende des cartes qui seront produites ultérieurement sur papier. Ces légendes seront un résumé compréhensible du contenu du graphique mais n'auront pas vocation à tout expliciter.

Doit-on s'engager dans la création d'un MCD* (Modèle conceptuel de données) et se plonger dans

la méthode Merise* ? Il nous semble que cela n'est pas nécessaire ; la définition d'un tel modèle vise à accélérer, d'une manière figée, l'accès aux données en vue d'une application précise. Comme notre manuel vise modestement à la création de données, il nous semble que le plus important est de décrire précisément les conditions de création de chacune des informations.

Actualiser après coup vaut mieux que perdre son temps à attendre une donnée récente

Notre guide préconise de toujours utiliser en premier lieu l'information disponible dans les documents cartographiques ou photographiques verticaux déjà existants. Ceux-ci s'avèrent donc souvent déjà obsolètes. D'une part, la réalité urbaine observée peut évoluer très rapidement. Ainsi, en Éthiopie, une image de ville prise trois ans auparavant décrit une situation largement dépassée et ne présente pas l'essentiel de l'extension urbaine actuelle, tant les changements urbains sont rapides dans ce pays depuis le début des années 2000. D'autre part, les progrès technologiques et économiques récents qui ont provoqué l'apparition de nouvelles sources de données laissent présager de la possibilité de plus en plus fréquente de trouver des données de plus en plus actualisées. Aujourd'hui, on trouve facilement et à peu près sur n'importe quelle ville un jeu récent de données photographiques aériennes ou spatiales sur lesquelles on distingue correctement les bâtiments. Par contre, il reste encore assez rare de trouver de tels jeux de données à plusieurs dates différentes pour une même ville.

Pour le moment, il est difficile de pouvoir planifier la réalisation de votre cartographie sur ces documents les plus récents car leur disponibilité n'est pas bien assurée. Par contre, il est judicieux de prévoir l'actualisation de votre cartographie dès sa création et de penser à recourir à ces sources une fois réalisée votre cartographie première.

Nous vous conseillons donc de toujours utiliser les documents anciens en premier lieu pour créer votre cartographie, quand ils existent et sont d'une précision confortable. Dans le choix du document à utiliser, la disponibilité et la précision sont en effet prioritaires sur l'exactitude et l'actualité de la donnée, car :

- l'exactitude de la localisation géographique peut être introduite à partir d'une autre source (par exemple, par le calage sur relevés GPS de terrain) ;
- l'actualisation de la donnée peut être faite après. Une fois que votre cartographie existe, elle est facilement actualisable puisque la partie ancienne de l'espace urbain est déjà numérisée : il ne reste donc qu'à la compléter.

Exemple : actualiser la cartographie réalisée sur la ville de Debre Birhan (Éthiopie)

a) L'accès aux images

Sur Debre Birhan, nous avons réalisé notre cartographie rapide à partir de l'image Ikonos du 14 novembre 2007. Comme images plus récentes sur cette ville à la date du 1^{er} août 2010, nous avons trouvé une image Quick Bird du 2 décembre 2007, une image Ikonos du 22 mars 2008 et rien de plus sur le catalogue de Spotimage.

Pour la démonstration nous allons utiliser l'image Quick Bird du 2 décembre 2007. On pourrait penser qu'à moins d'un mois d'intervalle rien n'aurait changé. Il n'en est rien : de nombreux nouveaux bâtiments peuvent être repérés, ce qui est tout à fait cohérent avec le phénomène éthiopien actuel d'une très rapide extension urbaine des villes secondaires.

Debre Birhan (Éthiopie)



Source : Image Ikonos, 14-11-2007, pixel 1 m

Debre Birhan (Éthiopie)



Source : Image Quick Bird, 2-12-2007, pixel 60 cm

Couverture partielle de Debre Birhan



Source : Image Ikonos, 22-03-2008, pixel 1 m

Légènder la carte, actualiser les donnèes

b) La rectification géométrique

Le problème de l'obliquité différente pour les deux images va se poser.

Il n'existe pas de bâtiment de grande hauteur à Debre Birhan. Ainsi, le bâtiment 7 qui abrite le Blanc-Mesnil College n'a que trois étages (au plus 15 m de haut). Cependant, le château d'eau de la ville mesure 27 m de hauteur (bâtiment 2). La rectification des images que nous avons effectuée est basée sur des objets

au sol ; nous avons ainsi tracé la limite visible sur les deux images d'un terrain de sport. Nous constatons que le déplacement apparent des toits entre les deux images est d'autant plus important que la hauteur des objets est grande :

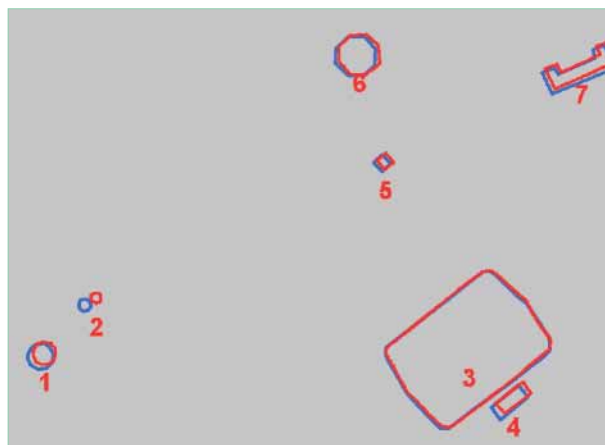
- pas de déplacement de l'enveloppe du bâtiment 3,
- un déplacement plus important pour l'église hexagonale (6) et pour le collège (7),
- pour le château d'eau (2) les 2 tracés sont disjoints.

Extrait de l'image Ikonos du 14-11-2007 utilisée pour la cartographie rapide



6 Numéro des objets dessinés dans le fichier vecteur ci-contre

Tracé des objets correspondant aux 2 dates des 2 images



— Objet tracé à partir de l'image Ikonos ci-contre
— Objet tracé à partir de l'image Quick Bird du 02-12-2007

c) La photo-interprétation

Voici deux exemples de découverte de nouveaux bâtiments entre novembre et décembre 2007.

Nous avons stocké le dessin de ces nouveaux bâtiments sur un document vecteur spécifique que nous appelons « bati_nouveau_dec_2007 ».

Tracé sur extrait de l'image Ikonos du 14-11-2007



— Tracé des bâtiments présents sur la première image Ikonos du 14-11-2007 et donc présents sur la cartographie réalisée. Nous n'avons pas alors tracé les constructions en cours, une seule ayant été pourvue d'un toit

Tracé sur extrait de l'image Quick Bird du 02-12-2007



— Tracé des nouveaux bâtiments repérés sur cette image et regroupés dans une collection nouvelle

Le cas présenté sur la page suivante explique comment traiter l'apparition d'une nouvelle maison

(tracé en rouge) individuelle et isolée dans un quartier d'auto-construction planifiée.

Extrait de l'image Ikonos du 14-11-2007



— Tracé des bâtiments présents sur la première image Ikonos du 14-11-2007 et donc présents sur la cartographie réalisée.

d) Ajout d'une subdivision territoriale

La partie sud-est du kébélé 04 est actuellement non bâtie. Cependant, des projets d'urbanisation importants et spécifiques y sont prévus avec des zones de condominium et d'autres d'auto-construction. Il est fort probable qu'à terme la municipalité décide de

Tracé de la nouvelle maison



— Nouvelle maison individuelle

scinder le kébélé en deux. La simulation ci-dessous montre qu'il sera facile d'actualiser en fonction des décisions de la municipalité. Nous scindons le kébélé 04 en deux parties et nous nommons les deux kébélés résultants : kébélé 04 et kébélé AA.

Extrait de l'image Ikonos du 14-11-2007 utilisée pour la cartographie rapide



— Périmètre actuel du kébélé 04

e) L'organisation de la base de données

Lorsque nous avons plusieurs états chronologiques pour une collection d'objets, il existe au moins deux solutions pour stocker le renseignement « date » :

- dans le cas des kébélés par exemple, il est plus simple de refaire une collection d'objets complète pour la seconde date.

Dans la base de données, nous aurons une collection d'objets « Kébélé2000 » et une autre collection « Kébélé2012 » ;

Extrait de l'image Quick Bird du 02-12-2007



— Tracé de l'éventuel projet de nouveau kébélé AA et du nouveau périmètre du kébélé 04

- dans le cas du bâti, il est plus judicieux de créer une collection d'objets comportant uniquement les nouveaux bâtiments apparus à la nouvelle date. De plus, certains bâtiments qui existaient dans l'ancienne collection ont été détruits ou ont disparu. Il est possible de créer un nouvel attribut « date de destruction » et d'intégrer ce renseignement supplémentaire pour les quelques bâtiments concernés. On pourra traiter de la même façon les collections d'arbres ou de pylônes, saisis individuellement.

Les sites humanitaires

Il est important de les consulter car ils restituent souvent une démarche de cartographie rapide.

AGTER (Une association pour contribuer à améliorer la gouvernance de la terre, de l'eau et des ressources naturelles)

45 bis, av. de la Belle Gabrielle, 94736 Nogent-sur-Marne cedex, France, web : <http://www.agter.asso.fr/>

CartOng, la cartographie au service de l'action humanitaire

CartONG est une ONG qui propose des services de cartographie et de SIG aux petites associations ainsi qu'aux ONG et agences onusiennes, aux bailleurs de fonds, intervenants dans le domaine humanitaire.

Bureau 116, Parc d'activités de Cote Rousse, 180, rue du Genevois, 73000 Chambéry, France, web : <http://www.cartong.org/>

Humanitarian OpenStreetMap

<http://hot.openstreetmap.org/weblog/>

Mapaction, le service de cartographie d'urgence,

<http://www.mapaction.org/>

MapAction fournit des cartes créées à partir des informations recueillies sur les lieux des catastrophes pour favoriser l'aide humanitaire à la bonne place, rapidement.

La cartographie libre

Site d'échanges techniques du CETE-Méditerranée

http://www.cete-mediterranee.fr/tt13/www/imgarea/DemoOSM-Manuel_Utilisation.pdf (Application des données Open Street Map à l'analyse géographique de réseaux de voirie et transports collectifs, version du 27-11-09)

<http://www.cete-mediterranee.fr/tt13/www/imgarea/DemoSIG-vptc-manuel.pdf> (Démonstrateur libre - Analyse géographique de réseaux de voirie et transports collectifs, version du 19-10-09)

OpenStreetMap

http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Human_OSM_Team

Topographie et géodésie

ASSOCIATION FRANÇAISE DE TOPOGRAPHIE, 2000 – *Lexique topographique*.

BALMINO G., 1998 – *Champ de pesanteur terrestre et géoïde. Principes, progrès et connaissance actuelle*. Bureau gravimétrique international, Toulouse, France.

BONNEVAL (De) L.-P.-M., 1897 – *Notions de topographie à l'usage des candidats à l'École spéciale militaire de Saint Cyr*.

BOTTON S., DUQUENNE F., EGELS Y., EVEN M., WILLIS P., 1997 – *GPS : Localisation et navigation*. Conseil national de l'information géographique, Groupe Positionnement statique et dynamique, Hermès.

BOUTELOUP D., 2004 – *Cours de géodésie*. École nationale des sciences géographiques, IGN-ENSG, Paris.

BRABANT M., 2003 – *Maîtriser la topographie. Des observations aux plans*. Paris, éd. Eyrolles, coll. Blanche BTP, 552 p.

CAZENAVE A., FEIGL K., 1995 – *Formes et mouvements de la terre. Satellites et géodésie*. Belin-CNRS Éditions.

DUFOUR J.-P., 1999 – *Cours d'introduction à la géodésie*. École nationale des sciences géographiques, Institut géographique national.

GAMACHE M., 2004 – *Free and Low Cost Datasets for International Mountain Cartography*. http://www.icc.es/workshop/abstracts/ica_paper_web3.pdf.

HENRY J.-B. – ULP. Université Louis Pasteur, Strasbourg 1, France, <http://jb.henry.free.fr/cours/cours.html> (notions de topographie, photogrammétrie et GPS).

INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL, 2000 – *Notions géodésiques nécessaires au positionnement géographique*. Notice technique du service de géodésie et nivellement, 28 p., <http://www.ensg.ign.fr>.

LEDIG J., 1999 – *GPS pour le positionnement géodésique*. Cours de l'École nationale supérieure des arts et industries de Strasbourg, section Topographie.

LEFORT J., 2004 – *L'aventure cartographique*. Belin, Pour la Science.

LEVALLOIS J.-J., BOUCHER C., BOURGOIN J., COMOLET-TIRMAN A., ROBERTOU A., 1998 – *Mesurer la Terre : 300 ans de géodésie française. De la toise du Châtelet au satellite*. Association française de topographie, Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées, AFT, Paris.

- MILLES S., LAGOFUN J., 1999a – *Topographie et topométrie modernes. Techniques de mesure et de représentation*. Paris, éd. Eyrolles, 1, 526 p.
- MILLES S., LAGOFUN J., 1999b – *Topographie et topométrie modernes. Calculs*. Paris, éd. Eyrolles, 2, 332 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU CANADA, 1998 – *Guide pour le positionnement GPS* (disponible sur le site <http://www.geod.nrcan.gc.ca>).
- PIÉPLU J.-M., 2006 – *GPS et Galiléo. Système de navigation par satellites*. Paris, éd. Eyrolles, 154 p. (cours de topographie et topométrie générale).
- PREVOT M. E., QUANON M., 1942 – *Notions de topographie (levé des plans et nivellement)*. Paris, École spéciale des travaux publics, 148 p.
- Photogrammétrie**
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE TOPOGRAPHIE.
- EGELS Y., KASSER M., 2001 – *Photogrammétrie numérique*. Paris, Hermès sciences publications, 379 p.
- HENRY J.-B., MALET J.-P., MAQUAIRE O., GRUSSENMEYER P., 2002 – The use of small-format and low-altitude aerial photos for the realization of high-resolution DEMs in mountainous areas. Application to the Super-Sauze earthflow (Alpes-de-Haute-Provence, France). *Earth Surface Processes and Landforms*, 27 : 1339-1350.
- KRAUS K., WALDHÄUSL P., 1997 – *Manuel de photogrammétrie. Principes et procédés fondamentaux*. Éd. Hermès, 1, 406 p.
- KRAUS K., WALDHÄUSL P., 1998 – *Photogrammetry. Advanced Methods and Applications*. 2. Association française de topographie.
- Photo-interprétation**
- BAKIS H., BONIN M., 2000 – *La photographie aérienne et spatiale*. Paris, PUF, Que sais-je n° 1700, 127 p.
- CHEVALLIER R., 1965 – *Photographie aérienne. Panorama intertechnique*. Paris, Gauthier-Villars, 237 p.
- CHEVALLIER R., SOYER J., 1970 – *La conservation de la forme circulaire dans le parcellaire français. Étude basée sur l'interprétation des photographies aériennes*. Paris, éd. EHESS, coll. Mémoires de photointerprétation, 6, 146 p.
- GAGNON H., 1974, *La photo aérienne, son interprétation dans les études d'environnement et de l'aménagement du territoire*. Montréal, éd. HRW, 278 p.
- GARRY G. (dir), 1992 – *Environnement, aménagement. 3/ l'usage des photographies aériennes*. Paris, ed. STU, ministères de l'Équipement et de l'Environnement, 154 p.
- GARRY G., CAMOU, 1984 – *Photo-interprétation... de la photographie aérienne à l'urbanisme*. Plaquette réalisée au service technique de l'urbanisme, ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports, direction de l'urbanisme et des paysages, 53 p.
- GIRARD C.-M., GIRARD M.-C., 1999 – *Traitement des données de télédétection*. Paris, Dunod, coll. Technique et ingénierie, série Environnement, 529 p. (chap.5 Photo-interprétation, chap.14 Éléments de base sur les photographies aériennes).
- LEGROS J.-P., 1997 – *Cartographie des sols : de l'analyse spatiale à la gestion des territoires*. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- LILLESAND T.-M., KIEFER R.-W., 2000 – *Remote sensing and image interpretation*. 4th ed., USA, John Wiley & Sons, Inc., 724 p. (chap. 2 à 4).
- PHILIPSON W.-R. (ed.), 2000 – *Manual of photographic interpretation*. 2nd ed., Science and engineering series, American society for photogrammetry and remote sensing, USA.
- PROVENCHER L., DUBOIS J.-M., 2007 – « Méthodes de photo-interprétation et d'interprétation d'image », vol. 4. In : *Précis de télédétection*, Presses de l'université du Québec et Agence universitaire de la francophonie, Sainte-Foy (Québec), xxxviii + 468 p.
- Photo-interprétation mathématique**
- LEFEVRE S. 2007 – « Extending morphological signatures for visual pattern recognition ». In : Actes de *IAPR International Workshop on Pattern Recognition in Information Systems (PRIS)*, Madère, Portugal, juin 2007 : 79-88.
- LEFEVRE S., SHEEREN D., WEBER J., 2007 – « Automatic building extraction in VHR images using advanced morphological operators ». In Actes de *IEEE/SPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*, Paris, France, avril 2007.
- LHOMME S., WEBER C., HE D.-C., 2004 – L'extraction du bâti à partir d'images satellitaires THRS. *Revue internationale de Géomatique*, 14 (3-4) : 465-484.
- SHEEREN D., LEFEVRE S., WEBER J., 2007 – La morphologie mathématique binaire pour l'extraction automatique des bâtiments dans les images THRS. *Revue Internationale de Géomatique*, numéro thématique : *Informations géographiques : structuration, extraction et utilisation*, 17 (3-4) : 333-352.
- Expression graphique**
- AUBOUIN J., DERCOURT J., LABESSE B., 1970 – *Manuel de travaux pratiques de cartographie premier cycle et maîtrise*. Paris, éd. Dunod, 332 p.
- BEGUIN M., PUMAIN D., 1994 – *La représentation des données géographiques, statistique et cartographie*. Paris, éd. Armand Colin : nouvelle présentation. Le besoin de

cartes, la multiplication des bases de données et l'usage des ordinateurs ont considérablement développé la production de documents cartographiques. Cependant, il reste indispensable de traiter convenablement l'information géographique en vue de sa communication...

BERTIN J., 1977 – *La graphique et le traitement graphique de l'information*. Paris, éd. Flammarion, 273 p.

BERTIN J., 2005 – *Sémiologie graphique. Les diagrammes. Les réseaux. Les cartes*. Éd. EHESS, coll. Réimpression, 444 p.

BLIN É., BORD J.-P., 1993 – *Initiation géo-graphique ou comment visualiser son information*. Paris, éd. Sedes.

BLIN É., BORD J.-P., 1995 – *Initiation géo-graphique ou comment visualiser son information*. 2^e éd. augmentée, Paris, éd. Sedes, 284 p. : ouvrage pratique, en 24 séances avec exercices, s'adressant plus particulièrement à des étudiants de premier et second cycles.

BONIN S., 1975 – *Initiation à la gra-phi-que*. Paris, éd. Epi.

LE FUR A., 2004 – *Pratiques de la cartographie*. Paris, éd. Armand Colin, coll. Synthèse, 97, 96 p.

Divers

CAMBRÉZY L., SOURIS M., 2000 – Environnement et cartographie des camps de réfugiés au Kenya : une application de la vidéographie aérienne, Comité français de cartographie, *Bulletin*, 16, Paris : 12-30.

CENTRE CANADIEN DE TÉLÉDÉTECTION,
http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/index_f.php :
intitulé Ressources, Tutoriels de télédétection.

Certu (Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques)

Site internet : <http://www.certu.fr/>

CERTU, 2010 – *La qualité des données géographiques. État des lieux pour un débat*. Éd. du Certu, Les rapports d'étude, 32 p.

CERTU, 2011a – *La standardisation des données géographiques. Comprendre l'action de la Covadis et savoir lire un géostandard*. Éd. du Certu, coll. Dossiers, 32 p.

CERTU, 2011b – *Comment qualifier la précision et les notions d'échelle dans les métadonnées de nos séries de données ?* Éd. du Certu, coll. Dossiers, 32 p.

CERTU – Revue *SIGN@TURE*. Éd. du Certu

HERGÉ, 1966 – *Tintin et le trésor de Rackham le Rouge*. Belgique, éd. Casterman, coll. Les aventures de Tintin et Milou : 22

KASSER M. – <http://michel.kasser.free.fr/publications1.htm>

NATIONS UNIES, DIVISION DE LA STATISTIQUE, 2002 – *Manuel d'organisation des recensements de la population et de l'habitation*. Série F, Études méthodologiques.

PONCET P., 2004 – *La petite carte*, EspacesTemps.net, *Mensuelles*, 06.02.2004, <http://www.espacestemp.net/document532.html>.

SIBERT E., 2005 – *Logiciel convertisseur pour la conversion de coordonnées géographiques*. Mise en ligne le 14.03.2005 sur <http://eric.sibert.fr/article80.html>.

SOURIS M., 2002 – *La construction d'un système d'information géographique : principes et algorithmes du système Savane*. Thèse doct. Informatique univ. La Rochelle, 2 vol., 497 p., <http://www.sudoc.abes.fr/> ou <http://www.savgis.org/> documentation.

VERGER F., KERGOMARD C., 2005 – *Photo-interprétation. Images et représentations spatiales de l'environnement*. Paris, éd. Eska, 2004/4, 40, 56 p.

- ' Symbole de la minute d'angle, 60^e partie du degré hors Système international d'unité (SI).
- ° Symbole du degré, unité d'angle hors Système international d'unité (SI).

API – Application Programming Interface

Interface de programmation fournie par un programme informatique. Elle permet l'interaction des programmes les uns avec les autres, de manière analogue à une interface homme-machine, qui rend possible l'interaction entre un homme et une machine. Du point de vue technique une API est un ensemble de fonctions, procédures ou classes mises à disposition par une bibliothèque logicielle, un système d'exploitation ou un service. La connaissance des API est indispensable à l'interopérabilité entre les composants logiciels.

Arc

Portion de ligne pouvant comporter plusieurs segments.

ASTER Global Digital Elevation Model ou GDEM (Global Digital Elevation Model)

Modèle numérique d'élévation (incluant le sursol, c'est-à-dire les bâtiments) calculé à partir de couples stéréoscopiques des images panchromatiques du capteur ASTER. Il est mis en ligne depuis le 29 juin 2009 par la Nasa et le ministère de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie du Japon. Il offre une meilleure couverture géographique que le SRTM (99 % contre 80 %), sa résolution est de 30 m, y compris en Europe et au Canada.

CGIAR-CSI – Consortium for Spatial Information of Consultative Group on International Agricultural Research (<http://www.cgiar-csi.org>)

Le CGIAR est une organisation internationale dont la mission est de coordonner les programmes de recherche agricole internationale dans le but de réduire la pauvreté et d'assurer la sécurité alimentaire dans les pays en voie de développement par le moyen de la recherche agricole. Il a été fondé par la Banque mondiale le 19 mai 1971 sous le parrainage conjoint de la FAO, du Fonds international de développement agricole (Fida) et du programme des Nations unies pour le développement. Le CGIAR comprend 64 membres, organisations internationales, fondations (Rockefeller, Gates, Monsanto), gouvernements et organisations non gouvernementales. Il soutient actuellement quinze centres de recherche regroupés dans l'Alliance des centres internationaux du CGIAR. En mai 1999, cette alliance fonde le Consortium for Spatial Information (CGIAR-

CSI) qui associe les laboratoires GIS/RS, des chercheurs et différentes institutions au niveau mondial.

cm Symbole du centimètre (n.m.).

CNIG – Conseil national de l'information géographique (<http://www.cnig.gouv.fr>)

Il a pour mission principale de conseiller le gouvernement français sur toutes questions relatives au secteur de l'information géographique. Il contribue également à en stimuler le développement.

Convers

Ce logiciel libre de conversion de coordonnées géographiques (<http://vtopo.free.fr/convers.htm>) permet de convertir des coordonnées exprimées en latitude/longitude dans différents systèmes géodésiques ou bien en X/Y dans différentes projections. Il permet également de calculer l'angle de convergence des méridiens en un point donné (angle entre le nord géographique et le nord de la projection considérée). Des séries de coordonnées peuvent être converties à partir d'un fichier. Convers peut être utilisé en ligne de commande.

Creative Commons (<http://fr.creativecommons.org/index.htm>)

Type de licence permettant d'utiliser l'information mise à disposition sous condition d'en citer la source. Le site Creative Commons propose gratuitement des contrats flexibles de droit d'auteur pour diffuser vos créations.

Datum

Pour définir un système géodésique, l'ellipsoïde seul ne suffit pas ; il est nécessaire de le positionner par rapport à la surface réelle de la Terre. La donnée de l'ellipsoïde et des paramètres de positionnement constitue ce qu'on appelle un datum géodésique. Un datum géodésique est donc défini par la donnée de l'ellipsoïde, la position du centre de l'ellipsoïde et l'orientation des axes de l'ellipsoïde.

DEM ou Digital Elevation Model

Modèle numérique d'élévation ou MNE en français, matrices de valeurs d'altitude du sol et du sursol (c'est-à-dire incluant les bâtiments).

DGI

Direction générale des impôts du ministère des Finances français.

Earth Remote Sensing Data Analysis Center (Ersdac) (<http://edac.unm.edu>)

En français, Centre d'analyse des données satellitaires terrestres. En 1964, le Earth Data Analysis Center (Edac) a été créé à l'université du Nouveau-Mexique (UNM)

pour transférer la technologie spatiale de la Nasa aux secteurs public et privé. Depuis, ce centre a diversifié ses domaines de transfert en incluant la télédétection (1973), le traitement d'image (1979), les systèmes d'information géographique (1983), le GPS (1990) et les technologies de l'information (1999).

EPSG – European Petroleum Survey Group

Ce groupe, créé en 1985 par Jean-Patrick Girbig et la compagnie ELF, a défini une liste des systèmes de coordonnées géoréférencées et leur a associé des codes pour les identifier. Le groupe est devenu en 2005 le Comité de topographie et de positionnement (Surveying and Positioning Committee) de l'Association internationale des producteurs de pétrole et de gaz (OGP). Ces codes, qui existent toujours sous le nom de « code EPSG », sont notamment utilisés dans les standards de l'Open Geospatial Consortium. L'APSG – Americas Petroleum Survey Group – est créé, dix ans plus tard à Houston (USA) par Jean-Patrick Girbig avec des objectifs semblables. Un système géodésique peut recevoir plusieurs codes EPSG selon son utilisation. Ainsi, le système géodésique officiel – Réseau géodésique français, RGF93, valide en métropole – a pour code EPSG 6171. C'est un système de coordonnées géocentriques. L'ellipsoïde associé est IAG GRS 1980. Lorsqu'un code EPSG est noté (géographique 2D), cela signifie que le système géodésique est réduit à la latitude et à la longitude. Lorsqu'il est noté (géographique 3D), cela signifie qu'il gère latitude, longitude et hauteur sur l'ellipsoïde.

Ethiopian Civil Service College – ECSC

Établissement d'enseignement supérieur créé en 1995 par le ministre de l'Éducation éthiopien, localisé à Addis-Abeba et dont la mission est de former les cadres territoriaux. Il a intégré l'ancienne faculté d'urbanisme qui lui préexistait (<http://www.ecsc.edu.et>).

Etrex

Gamme de navigateurs de la société Garmin (GPS portable ultra-compact, avec antenne haute sensibilité, boîtier étanche, calculateur de trajet personnalisable et mémorisation de séries de points).

Fauchée

Désigne la largeur de pré couverte par un faucheur, l'ampleur de son coup de faux, de l'ordre de 1,50 m. Par analogie, la fauchée est utilisée en télédétection pour désigner la largeur de balayage couverte par la visée du satellite à un moment de prise de vue donné, entre 10 et 600 km selon le satellite.

ForumSIG – portail des Systèmes d'information géographique (<http://www.portalsig.org>)

Un des sites internet d'échange et d'information de la communauté des Sigistes francophones.

GDEM

Global Digital Elevation Model, voir définition de ASTER

Géoportail

(<http://www.geoportail.fr/5063351/index/accueil.htm>)

Destiné aux citoyens comme aux services de l'État, aux collectivités territoriales et aux entreprises, le Géoportail est un site de service public, un outil de référence pour l'accès en ligne aux informations géographiques d'intérêt public, et à leur visualisation cartographique en 2D et 3D. Ces données – photos aériennes, cartes et données géographiques IGN sur la France, les DOM/TOM et les collectivités territoriales – sont fournies par tous les détenteurs d'informations, partenaires du Géoportail.

Georezo – portail francophone de la géomatique,

(<http://georezo.net>)

Ce site vous convie à « partager, enrichir et proposer vos compétences dans les nombreux domaines techniques, organisationnels, juridiques et humains des systèmes d'information géographique (SIG) ». Animé par une équipe de passionnés, ce site est un portail francophone destiné à vous aider au travers de forums thématiques et techniques. Vous trouverez une foule d'informations dans les quatre sections principales : Communauté, Ressources, Emploi et Marché.

GeoTif ou Geotiff

Le Geotiff est un standard du domaine public permettant d'ajouter des informations de géoréférencement à une image TIFF (projection, système de coordonnées, datation...). L'objectif des spécifications du Geotiff consiste à permettre la description de toute information « cartographique » associée à une image TIFF et en provenance d'imagerie satellite, photographies aériennes ou cartes scannées, d'un modèle d'élévation ou d'une analyse géographique.

Gon

Symbole de grade, unité d'angle hors Système international d'unité. Valeur en unité SI (radian) : $p/200$. Le symbole gr n'est plus toléré (décret n° 82203 du 26 février 1982, JO français du 28 février 1982 et norme AFNOR NF X 02-006).

Google

Moteur de recherche de niveau mondial, il organise les informations à l'échelle mondiale dans le but de les rendre accessibles à tous. Cette entreprise est fondée en 1998 par Larry Page et Serge Brin, son siège social est situé au 1600 Amphitheatre Parkway, Mountain View, CA 94043, États-Unis. Pour plus d'information : <http://www.google.ca/intl/fr/corporate/tenthings.html>.

Google Earth

Outil de visualisation et localisation géographique disponible et téléchargeable sur le serveur Google. À partir d'images satellites, de photographies au sol, de cartographies 2D et de représentation 3D, il vous permet de la simple recherche d'un lieu à l'enregistrement d'une visite comme l'importation de données GPS.

GPS – Global Positioning System

En français Système de positionnement mondial, système de géolocalisation par satellite américain fonctionnant au niveau mondial. Il est accessible au grand public, au même titre que son pendant russe : le système de navigation Glonass. Galileo est le système de positionnement par satellites européen en projet, prévu pour être opérationnel en 2014.

Graticule

Châssis ou treillis de lignes divisant un dessin en carrés égaux. Du verbe graticuler utilisé dans les domaines artistique et technique et désignant l'action de diviser un dessin en carrés égaux afin de le reproduire à la même échelle ou à une autre échelle tout en conservant ses proportions.

GRS80 – Geodetic Reference System 1980

Système géodésique de référence utilisé dans le système de géolocalisation par satellite américain (Global Positioning System) adopté en 1979 à l'assemblée générale de l'International Association of Geodesy (IAG).

IGN – Institut géographique national français

(<http://www.ign.fr>)

Chargé de la production, l'entretien et la diffusion de l'information géographique de référence en France, l'IGN intervient depuis 1940 sur toutes les opérations concernant la cartographie du territoire français. Siège social : 73, avenue de Paris, 94165 Saint-Mandé cedex.

Insee – Institut national de la statistique et des études économiques français (<http://www.insee.fr>)

Dépend du ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie. Il collecte, produit, analyse et diffuse des informations sur la société et l'économie françaises, coordonne le service statistique public français et le respect du secret statistique.

IRD – Institut de recherche pour le développement français (<http://www.ird.fr>)

Placé sous la double tutelle des ministères de la Recherche et des Affaires étrangères, établissement public français à caractère scientifique et technologique qui intervient depuis plus de 60 ans dans les pays du Sud (sous le sigle Orstom jusqu'en 2000) par des activités de recherche, d'expertise, de valorisation et de formation au service du développement de ces pays. Siège social : 44, boulevard de Dunkerque, CS 90009, F-13572 Marseille cedex 02.

IULIS – Integrated Urban Land Information Systems

Terme désignant un projet de système d'information géographique dédié à la description de l'occupation du sol et du parcellaire cadastral urbains.

JPL – Jet Propulsion Laboratory

(<http://www.jpl.nasa.gov>)

Laboratoire de la Nasa chargé des satellites américains après la mise en orbite du premier satellite américain Explorer 1 en 1958, associé au California Institute of

Technology. Siège social : Jet Propulsion Laboratory, 4800 Oak Grove Drive, Pasadena, California 91109.

km Symbole du kilomètre (n.m.).

Leobet Marc

Membre du Conseil national de l'information géographique français (CNIG), chargé de mission sur la directive Inspire, directive européenne 2007/2/CE du 14 mars 2007, qui vise à établir une infrastructure d'information géographique dans la communauté européenne pour favoriser la protection de l'environnement. Ce que la directive appelle infrastructure d'information géographique est un ensemble de services d'information disponibles sur Internet, répartis sur les sites web des différents acteurs concernés, et permettant la diffusion et le partage de données géographiques (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-directive-europeenne-Inspire-de.html>).

LIS – Local Information System

Terme utilisé en Grande-Bretagne pour désigner certains systèmes d'information géographique (GIS).

m Symbole du mètre (n.m.).

MCD – modèle conceptuel des données

Il a pour but d'écrire de façon formelle les données qui seront utilisées par le système d'information. Il s'agit donc d'une représentation des données, une modélisation, facilement compréhensible, permettant de décrire le système d'information sous la forme d'entités ou d'objets ayant des attributs ou caractéristiques et d'associations ou de relations regroupant ces entités.

Metadata – Métadonnées

Ensemble structuré d'informations servant à décrire une ressource.

Méthode Merise

Méthode de conception d'un système d'information. La méthode Merise est basée sur la séparation des données et des traitements à effectuer en plusieurs modèles conceptuels et physiques ; cette séparation garantit la longévité du modèle. En effet, l'agencement des données n'a pas à être souvent remanié, tandis que les traitements le sont plus fréquemment. Cette méthode date de 1978-1979, et fait suite à une consultation nationale lancée en 1977 par le ministère de l'Industrie français dans le but de choisir des sociétés de conseil en informatique afin de définir une méthode de conception de systèmes d'information. Les deux principales sociétés ayant mis au point cette méthode sont le CTI (Centre technique d'informatique) chargé de gérer le projet et le CETE (Centre d'études techniques de l'équipement) implanté à Aix-en-Provence.

Michelin

Fabricant français de pneumatiques et multinationale dont le siège social est à Clermont-Ferrand (France). Créée en 1889 par les frères André et Edouard Michelin, elle est connue pour l'invention du pneu bicyclette

démontable (1891) et du pneu radial (1946). Dès 1910, cette entreprise commercialise des cartes routières et régionales au 1 : 200 000. En France, le terme carte Michelin est passé dans le langage courant pour désigner des cartes au 1 : 200 000 ou 1 : 100 000, et celui de carte d'état-major pour désigner des cartes au 1 : 50 000, 1 : 20 000, 1 : 10 000 ou 1 : 5 000.

mille (n.m.)

Nom autrefois donné à un grand nombre d'unités de longueur. Actuellement sont encore utilisés : le mille ou mile terrestre anglais valant 1 760 yards anglais, soit 1 609,3 426 m ; le mille ou mile terrestre américain valant 1 760 yards américains, soit 1 609,3 472 m ; le mille marin international ou simplement mille international valant par convention 1 852 m ; le mille marin britannique appelé « nautic mile » valant 1 853,1 824 m.

MNE – modèle numérique d'élévation

Voir *DEM* ou *Digital Elevation Model*.

Nasa – National Aeronautics and Space Administration

Plus connue sous son abréviation, la Nasa (Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace) est l'agence gouvernementale qui a en charge la majeure partie du programme spatial civil des États-Unis. La recherche aéronautique relève également de son domaine. Depuis sa création au début des années 1960, la Nasa joue un rôle de leader mondial dans le domaine du vol spatial habité, de l'exploration du système solaire et de la recherche spatiale.

NGA – National Geospatial-Intelligence Agency

Anciennement National Imagery and Mapping Agency (Nima), agence du département de la Défense des États-Unis qui a pour fonction de collecter, analyser et diffuser le renseignement géospatial et l'imagerie satellitaire.

NTF – Nouvelle triangulation de la France

Parfois appelé « système Lambert » (du nom de la projection qui lui est associée), système géodésique couvrant le territoire français métropolitain. Aujourd'hui, elle laisse place au RGF93. Les 70 000 sites géodésiques (plus de 80 000 si l'on compte également les points de 5^e ordre ou triangulation complémentaire) sont régulièrement répartis sur le territoire national et matérialisent ainsi le système NTF avec une précision relative moyenne de l'ordre de 10⁻⁶ (c'est-à-dire quelques centimètres entre deux points voisins).

OSM – OpenStreetMap

Programme ayant pour objectif de créer et de mettre à disposition sur un portail des cartes du monde sous licence libre, en utilisant le système GPS et d'autres données libres. Fondé au University College de Londres en juillet 2004 par Steve Coast, il est basé sur le principe d'un approvisionnement par l'intervention de tout utilisateur volontaire.

RGF93 – Réseau géodésique français 1993

Successeur de la NTF et système géodésique officiel en France depuis le 1^{er} janvier 2001 pour tous les travaux de nature publique de plus d'un hectare, ou dont la plus grande longueur est supérieure à 500 m (décret du 26 décembre 2000 modifié par le décret 2006-272 [1] du 3 mars 2006). Les coordonnées planimétriques d'un point en RGF93 sont de deux types : géographiques, longitude, latitude (λ ; ϕ) ; cartésiennes, Est, Nord (E ; N). Le RGF93 fournit aussi une information sur la troisième dimension, la hauteur ellipsoïdale, à ne pas confondre avec l'altitude normale NGF. Précision du RGF93 : 2 cm en planimétrie, 2 à 5 cm en altimétrie.

Savane

Première forme et nom du module d'exploitation du logiciel SIG et télédétection SavGIS développé depuis 1984 par l'IRD (Institut de recherche pour le développement).

SavGIS (<http://www.savgis.org>)

Logiciel SIG et télédétection développé depuis 1984 par l'IRD pour répondre aux besoins spécifiques des équipes de chercheurs de l'institut et de leurs partenaires. Mis au point notamment au sein des équipes qui ont construit des bases de données géographiques en Amérique latine, en Afrique et en Asie, il est utilisé par de nombreuses équipes dans diverses thématiques : gestion urbaine, risques naturels, épidémiologie, démographie, gestion de l'eau, risques sanitaires, gestion des côtes et des lagons, cartographie. SavGIS est compatible avec d'autres produits commerciaux (ArcGIS, MS Access, AutoCad). Gratuit et disponible sous MS Windows (98, 2000, XP, Vista, 7) en trois langues, français, anglais et espagnol.

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

Fait référence à des fichiers matriciels et vectoriels topographiques fournis par deux agences américaines, la Nasa et la NGA (ex-Nima). Ces données altimétriques ont été calculées à partir de données recueillies au cours d'une mission de onze jours en février 2000 par la navette spatiale Endeavour (STS-99) à une altitude de 233 km en utilisant l'interférométrie radar. Cette campagne d'observation a permis d'établir des modèles numériques d'élévation (MNE ou Digital Elevation Model, DME en anglais) pour près de 80 % des terres émergées s'étendant de 56° de latitude Sud à 60° de latitude Nord. D'autres données sont également mises à la disposition du public : les données radar brutes et des données générées à partir de ces MNE.

SIG

Système d'information géographique.

Spotimage

Société anonyme créée en 1982 par le Centre national d'études spatiales français (CNES), l'IGN, et l'industrie spatiale (Matra, Alcatel, SSC, etc.), elle forme actuellement avec Infoterra la division Géo-information de

l'EADS Astrium (European Aeronautic Defence and Space Company), opérateur commercial sous mandat du CNES, des satellites d'observation de la Terre SPOT. Son siège est à Toulouse (France).

Tessellation

Vient de tesselle, morceau de pierre, de terre cuite, de verre ou de marbre employé dans les mosaïques de pavement ou d'ornement. Dans le contexte de la méthode de recalage décrite, consiste à diviser l'image en de nombreux sous-éléments dont on réalise indépendamment le recalage.

Pour plus de détails sur le sens mathématique,
http://recherche.ign.fr/labos/cogit/pdf/THESES/MONIER/These_Monier.pdf.

Thematic Mapper

Nom du capteur embarqué sur les satellites Landsat depuis la version 4 et ayant pour caractéristiques principales une acquisition de données sur une large gamme d'ondes (8 canaux du violet à l'infrarouge), une résolution du pixel de 28,5 m et une fauchée de 185 km. Depuis 1972, les satellites Landsat sont lancés, placés sur une altitude de 700 km. Ils passent avec une répétitivité de 16 jours et sont gérés par la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) américaine.

USGS – United States Geological Survey

Institut d'études géologiques des États-Unis, agence consacrée aux sciences de la Terre, créée par une décision du Congrès des États-Unis le 3 mars 1879 rattachée au département de l'Intérieur des États-Unis et dont le siège se trouve à Reston (USA), première agence civile de cartographie aux États-Unis, connue notamment pour ses cartes topographiques à l'échelle 1 : 24 000. Le récent programme nommé National Map (Carte nationale) est une tentative pour numériser les cartes topographiques de l'ensemble des États-Unis. USGS est aussi chargée, à partir du National Earthquake Information Center, situé à Golden au Colorado (USA), de la surveillance de l'activité sismique et de la détection de l'épicentre et de la magnitude pour les séismes majeurs à travers le monde.

WGS84 – World Geodetic System 1984

Déclinaison du GRS80 utilisé dans le Global Positioning System, le système de géolocalisation par satellite américain révisé en 1984 et associé au GPS. Il s'est rapidement imposé comme une référence « standard » pour la cartographie. Un système géodésique ne doit pas être confondu avec un type de projection : il définit une représentation du géoïde terrestre.

Notes



Notes



Notes



Notes



Notes



Notes



Impression Good eye'd
383, av. du général de Gaulle
92140 Clamart
mars 2011

En 2005, sur le terrain de Woldyia, petite ville éthiopienne choisie comme terrain pour une formation à la planification urbaine, Bernard Lortic est confronté aux difficultés cartographiques des élèves de la faculté d'urbanisme. Seules sont disponibles des copies de cartes sur diazoïque bleu assez illisibles et souvent caduques car anciennes. L'utilisation des relevés de grande précision réalisés par ces étudiants à partir de leur minutieuse manipulation de décimètres à ruban, se trouve irrémédiablement limitée par l'absence de géoréférencement associé. Donner à ces étudiants, à la municipalité et aux cadres territoriaux locaux, le moyen de maîtriser leur localisation géographique, à l'échelle régionale comme du mobilier urbain, lui apparaît alors un travail utile et possible. À partir d'une exploitation pragmatique de son expérience du terrain, de la disponibilité actuelle des images satellites et des facilités offertes par les outils géomatiques modernes, SIG et GPS principalement, il met au point la méthode ici présentée. Le principe consiste à d'abord concevoir une base de données géographiques pour ensuite produire la cartographie géoréférencée recherchée. Ce manuel met ainsi à disposition de tout un chacun les moyens génériques d'une cartographie rapide applicable en tout lieu du monde et à toutes les échelles, de la région à celle du mobilier urbain.

Bernard Lortic, ingénieur et géographe de l'IRD, est connu pour ses travaux en télédétection urbaine et ses analyses de l'espace au service des recherches menées sur plusieurs villes des pays du Sud (Quito, Abidjan, Bogota, Mexico, Lima, Addis-Abeba...).

Dominique Couret, géographe de l'IRD, étudie les articulations entre développement et transformations socio-environnementales urbaines. Elle a pratiqué l'observation et l'analyse spatialisées à l'aide des outils géomatiques sur plusieurs terrains urbains en pays du Sud.

Mots-clés : cartographie, géoréférencement, SIG, GPS, base de données géographiques.

DVD : séquences vidéo MP4, démonstrations et exercices réalisés avec le logiciel SavGIS correspondant aux fiches.

