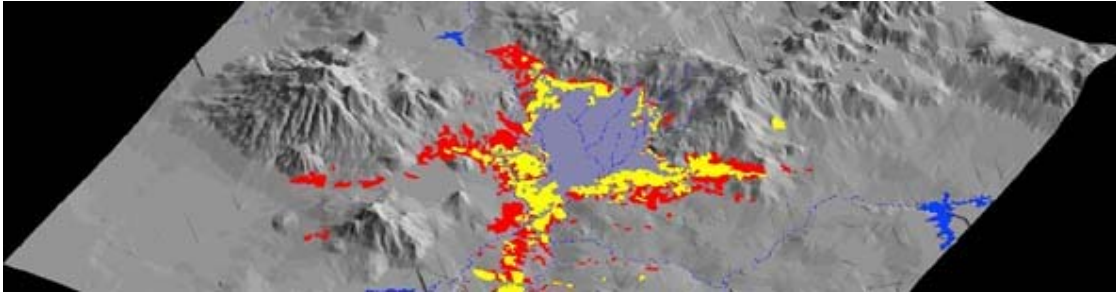


Addis-Abeba (Ethiopie)



Constitution d'une base de données localisées pour une étude de géographie urbaine

Nom : TAPSOBA

Prénom : Paul

Nationalité : Burkinabé

Ingénieur Civil Géographe

DESS Cartographie & SIG (Système d'Informations Géographiques)



Stage effectué au LCA (Laboratoire de Cartographie Appliquée) du Centre de Recherche d'Ile de France de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) ex-ORSTOM, dans le cadre de stage de fin d'étude du DESS. Je tiens à remercier vivement le personnel du LCA pour leur disponibilité.

Je remercie particulièrement Mr Pierre PELTRE responsable du LCA et responsable du stage.

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers Yves BLANCA (Informaticien) et Eric OPIGEZ (Cartographe) pour leur aide et leur disponibilité.

Enfin, une pensée toute particulière pour Dominique COURET (Géographe, Chargé de Recherche à l'IRD) et Bernard LORTIC (Ingénieur d'étude et Géographe) qui n'ont ménagé ni leur temps ni leurs efforts pour m'encadrer pendant la durée du stage.

Présentation de l'Institut d'accueil

IRD (Institut de Recherche pour le développement (ex-ORSTOM))

L'IRD est un établissement public à caractère scientifique et technologique, placé sous la tutelle des ministres chargés de la Recherche et de la Coopération. Depuis cinquante cinq ans, l'IRD mène des recherches en Afrique, dans l'Océan Indien, en Amérique latine et dans le Pacifique, sur les milieux intertropicaux, où il conduit des recherches qui sont devenues des références internationales. Il dispose d'implantations dans 26 pays de la zone intertropicale. Il compte également cinq implantations en métropole et cinq dans les DOM-TOM. L'IRD remplit trois missions fondamentales : la recherche, l'expertise et la formation. La structuration et les compétences des laboratoires de Bondy, dont fait partie le LCA, permettent une approche globale des questions d'environnement et de développement, notamment dans le domaine des sciences de la terre, des sciences du vivant, du développement urbain et des sciences sociales.

LCA (Laboratoire de Cartographie Appliquée)

Le Laboratoire de cartographie appliquée constitue la base du Secteur de l'information géographique de la DIC (Délégation à l'information et à la communication). Issu du service cartographique de l'ORSTOM, ses missions ont été élargies en 1995 à l'ensemble du domaine de la cartographie numérique au service de la recherche pour le développement, dans le but de créer une plate-forme de capitalisation de l'information et des savoirs-faire en matière de cartographie moderne, alliant capacité d'édition, d'appui à la recherche et de formation. Le laboratoire joue ainsi le rôle d'un centre de ressources de l'Institut en matière d'information géographique selon trois lignes directrices principales :

- publier des cartes thématiques et atlas de qualité en intégrant une large palette de moyens de production numériques, en développant notamment une capacité de réalisation multimédia pour diffuser des produits cartographiques sur CD-Rom et sur Internet;
- organiser au sein de l'Institut un lieu d'appui à la recherche à compétences multiples dans le domaine des bases de données géoréférencées sous SIG, capable d'accueillir à la fois des chercheurs et des doctorants, et permettant d'offrir une capacité de formation spécialisée à l'usage des chercheurs et des partenaires de l'Institut ;
- renforcer la capitalisation de l'information géographique en modernisant une cartothèque importante, et en développant la capacité de diffusion des réalisations de l'Institut en matière d'information géographique.

Le laboratoire comprend actuellement une quinzaine de techniciens, chercheurs et ingénieurs spécialisés. Il dispose de cinq stations de travail sous Windows NT, de deux SparcStation Sun et d'une dizaine de Macintosh, ainsi qu'un traceur A0 et deux scanners ; les principaux logiciels utilisés incluent Microstation et Adobe Illustrator pour les éditeurs graphiques, ArcInfo, ArcView, MapInfo et Savane dans le domaine des SIG, Adobe Photoshop et Microstation Descartes pour l'imagerie Raster. La mise en œuvre des orientations prises il y a quatre ans est maintenant bien établie. La capacité de réaliser des cartes à partir de bases de données géoréférencées sous SIG ou en cartographie statistique a été développée. Un important effort a été réalisé pour développer des compétences très diversifiées en matière de transformation des formats de fichiers. Les travaux édités ces dernières années concernent les thèmes de l'environnement, des ressources naturelles et diverses questions sociales, sous forme de cartes, d'atlas, ainsi que de produits cartographiques multimédia, notamment sous forme de serveur Web ou de produits sur CD-Rom. Il possède également une cartothèque de plus de 15 000 références à la disposition de la communauté scientifique, des étudiants et du public, et qui peut être consultée en ligne.

Introduction

La ville d'Addis-Abeba et la façon dont s'élabore sa croissance posent des problèmes de gestion spécifique, en relation tout à la fois avec son site particulier, l'histoire de son peuplement, des politiques et gestions urbaines successives. Ainsi, tous les ingrédients des problèmes économiques et d'infrastructures propres aux métropoles des pays en voie de développement s'y trouvent rassemblés: un taux de chômage de 40%, un niveau de revenu inférieur à 260 FF mensuel pour 50% des citoyens, 60% seulement de l'eau potable nécessaire est fournie et seulement 3.7% du réseau nécessaire pour l'évacuation des eaux usées est disponible. Ces quelques chiffres laissent envisager l'ampleur des difficultés de la vie urbaine pour la majorité des habitants d'Addis-Abeba et l'incroyable et impossible effort tous azimuts que demanderait aux gestionnaires de la ville, la prise en charge d'une mise à niveau des différents équipements urbains. Face à une telle situation, tout est urgence...

L'objet du projet "Approche environnementale des dynamiques urbaines à Addis-Abeba (Ethiopie)" est d'utiliser les méthodes et concepts exploratoires de l'approche environnementale pour aboutir à une nouvelle connaissance croisée des dynamiques principales de croissance / évolution, conservation / transmission et dégradation / destruction qui accompagne le phénomène urbain. L'objectif final est la mise au point de méthodes et la production de connaissances spécifiques utiles aux décideurs pour concevoir une gestion environnementale de la ville d'Addis-Abeba dans une perspective de développement durable. Il s'agit aussi de proposer une hiérarchisation des urgences et par-là aider à la définition de priorités réelles et des formes d'investissement public. C'est dans la perspective de la mise en route de ce programme que s'est inscrit le stage. Il a consisté à mettre en place d'une base de données localisées sur Addis-Abeba, avec le logiciel SIG Savane, afin de mettre à la disposition des chercheurs des informations nécessaires à leurs travaux. Le travail a aussi débouché sur la production d'un ou de documents cartographiques (posters) utilisant les données de la base constituée et qui seront exposés au salon de l'infographie du festival de la géographie de ST-DIE (29 septembre - 1^{er} octobre 2000) dans le cadre du stand du LCA. Différents ensembles de données d'origine et de nature diverse étaient disponibles, telles que des photos aériennes de 1965, des cartes topographiques au 50 000 à des dates différentes, des images SPOT panchromatiques de 1987 et 1997, ... Selon les exigences du logiciel SIG Savane, le cheminement a été le suivant: d'abord structurer la base, ensuite intégrer les données, tester l'exploitation de cette base, transférer cette base sous Arcview.

1. Le logiciel SIG Savane

SAVANE est un système d'information géographique (SIG) : c'est un système logiciel qui permet la gestion et l'exploitation de bases de données géographiques. Le SIG est composé du logiciel principal d'exploitation Savane et de quatre modules d'administration destinés à construire et à modifier les bases de données.

- Savateca, pour la conception de la structure et de l'organisation d'une nouvelle base, c'est-à-dire l'intégration des fichiers graphiques vectoriels, des fichiers images, et des fichiers de données descriptives associées.
- Savamer, pour la réalisation des calages et intégration d'images.
- Savedit, pour la saisie et le motif graphique sur écran.
- Savimport, pour l'importation de données vecteurs.

C'est un SIG à vocation scientifique

Le logiciel a été conçu pour saisir, traiter et analyser des données géographiques d'origines diverses, organisées et structurées suivant le modèle relationnel étendu à la localisation : l'ensemble de l'information est géré en une base de données unique qui intègre l'imagerie.

Principales fonctionnalités

De nombreux traitements de données peuvent être effectués, orientés vers l'analyse spatiale : sélections, croisements, mises en relation, regroupements, masques et tampons graphiques, jointures et agrégation de données géographiques, requêtes et calculs sur les attributs, calculs (statistiques, métriques, morphologiques), classifications, interpolations graphiques et modèles numériques, télédétection géoréférencée et traitement d'image.

Cartographie

L'éditeur graphique intégré dans SAVANE permet de visualiser les résultats des requêtes sous forme de cartes avec de nombreuses possibilités d'édition cartographique, de dessin automatique et d'exportation Postscript.

Traitement et géoréférencement d'images

Les données de type image communément dites raster (images satellite, photographies aériennes...) sont intégrées dans la base de données relationnelles comme les autres types d'objets localisés (zones, lignes, points). Des outils spécifiques de traitement d'image, issus du logiciel de télédétection PLANÈTE, permettent de modifier les images dans Savane. Les résultats des traitements peuvent être vectorisés et sont alors ainsi disponibles pour des exploitations, car jointes avec les autres types d'objets.

2. Mise en place de la base de données

2.1. Structuration de la base de données

Avant tout travail dans Savane, il faut commencer par créer la base de données c'est-à-dire décrire les données que l'on va utiliser, et pour cela définir la structure dans laquelle on va pouvoir faire entrer la description des objets que l'on a à gérer. Cette structure est basée sur le modèle relationnel où les individus sont groupés en collections ou relations. Chaque individu d'une collection est décrit par un

certain nombre de critères ou attributs. Bien entendu ces attributs sont les mêmes pour tous les objets d'une même relation (seule leurs modalités varient). Ces attributs peuvent être :

- Soit descriptifs : Permettant de décrire la relation, attributs sémantiques.
- Soit géographiques : Décrivant les caractéristiques géographiques de la relation.

Une même base peut contenir jusqu'à 500 relations (même si une vue externe ne peut donner accès qu'à seulement 80 relations à la fois dans une phase d'exploitation de la base). A chaque base de donnée est associé un territoire "fenêtre" définie par les coordonnées géographiques du coin bas gauche et du coin haut droit. Il est commode de définir un territoire de base de donnée suffisamment vaste pour que les territoires des relations localisés y soient inclus en totalité.

Ainsi dans Savateca, on effectue :

Création de la base

Un nom pour la base : addis

Un territoire :

Point bas gauche : 38°30' E et 8°30' N

Point haut droit : 39°00' E et 9°15' N

Un thème : par exemple "le changement urbain à Addis-Abeba".

Description de la base

La description de la base consiste à créer les différentes relations et leurs attributs qui vont la constituer. On peut définir plusieurs types de relations telles que :

- les relations du type raster

Relations qui contiennent les images. La précision (résolution) de l'image dont on veut disposer est importante.

Tableau des différentes relations raster

Relations	Attributs		Résolution (mètres/pixel)
	nom	type	
Carte50_25 <i>(Mosaïque des cartes topographiques (Addis-Abeba N.W. 1982, Addis-Abeba N.E. 1982, Addis-Abeba S.W. 1973, Addis-Abeba S.E. 1975) au 1 : 50 000 avec une résolution de 2.5 mètres/pixels après le calage)</i>	RVB	Couleur rouge, vert, bleu	2.5
	Indexée	Entier	
Carte50_100 <i>(Mosaïque des cartes topographiques (Addis-Abeba N.W. 1982, Addis-Abeba N.E. 1982, Addis-Abeba S.W. 1973, Addis-Abeba S.E. 1975) au 1 : 50 000 avec une résolution de 10 mètres/pixels après le calage)</i>	RVB	Couleur rouge, vert, bleu	10
	Indexée	Entier	

Spotpanchro_10 <i>(Images SPOT panchromatiques de résolution 10m/10m de 1987 et 1997 contenues chacune dans un attribut différent. Conservation de la résolution après le calage)</i>	Pan87	Entier	10
	Pan97	Entier	
Photoaerien_25 <i>(Mosaïque des photographies aériennes de 1965 au 1 : 46 000 avec une résolution de 2.5 mètres/pixels après le calage)</i>	Niv_gris	Entier	2.5
Limites_adm_ras <i>(Découpage administratif de la ville d'Addis-Abeba en Weredas (arrondissements) subdivisés en Kébélé (quartiers) 1986 au 1 : 100 000 avec une résolution de 20 mètres/pixels après le calage)</i>	Niv_gris	Entier	20
Plan_anciens_50 <i>(Carte de la ville d'Addis-Abeba en 1886 contenue dans l'attribut Addis_1886, mosaïque de plans d'occupation du sol de la ville dans Plan_occup_sol, avec une résolution 5 mètres/pixels après le calage)</i>	Addis_1886	Entier	5
	Plan_occup_sol	Entier	

- les relations du type vecteur (polygones, lignes, points)

Tableau des différentes relations vecteurs

Relations		Attributs	
nom	type	nom	type
Points_cote50 <i>(Points cotés saisis sur la mosaïque des cartes topographiques au 1 : 50 000)</i>	Points	Clé	Nominal
		Altitude	Réel
Courbes_50 <i>(Courbes de niveaux numérisées sur la mosaïque des cartes topographiques au 1 : 50 000)</i>	Lignes	Clé	Nominal
		Altitude	Réel

Esp_urbain_97 <i>(Espaces urbains numérisés sur l'image SPOT panchromatique de 97)</i>	Polygones	Clé	Nominal
Esp_urbain_87 <i>(Espaces urbains numérisés sur l'image SPOT panchromatique de 87)</i>	Polygones	Clé	Nominal
Esp_urbain_65 <i>(Espaces urbains numérisés sur la mosaïque des photographies aériennes de 65)</i>	Polygones	Clé	Nominal
Region_AA <i>(Limite de la région d'Addis-Abeba numérisée à partir du fond du découpage administratif au 1: 100 000)</i>	Polygones	Clé	Nominal
Unités_administ <i>(Unités administratives d'Addis-Abeba numérisée sur le fond du découpage administratif au 1: 100 000, associées à des données descriptives)</i>	Polygones	Clé	Nominal
		Identifiant	Nominal
		Wereda	Nominal
		type	Nominal
		Pop94	Numérique
		Hommes94	Numérique
		Femmes94	Numérique
		Nbremenages94	Numérique
		Nbrelogts94	Numérique
		Nom_unité_territ	Nominal
		Pop84	Numérique
		Hommes84	Numérique
		Femmes84	Numérique

Après la création de la base, il faut également créer une vue externe contenant toutes les relations afin de pouvoir les visualiser dans tous les modules d'exploitation de Savane, et un nom d'utilisateur, de manière à rendre l'accès à la base sélectif.

Vue externe

C'est la liste des relations utilisables par une personne externe (utilisateur). Un utilisateur peut avoir accès à plusieurs vues externes.

Utilisateur

La création d'un nom d'utilisateur est nécessaire pour travailler sur la base de données. Lors de la création du nom d'utilisateur, un répertoire (non compris dans celui de la base) est créé portant son nom et qui servira à stocker les états temporaires liés à l'utilisation de la base, ainsi que certains fichiers ou images qu'il désire conserver. Plusieurs utilisateurs peuvent utiliser la même base sans difficultés (un utilisateur ne peut accéder au répertoire de l'autre). Par contre, un même utilisateur ne peut travailler que sur une seule occurrence de Savane à la fois.

2.2. Choix du référentiel géographique

Dans la constitution d'une base de données géographique, le choix d'un référentiel est essentiel surtout pour un géoréférencement de données raster. C'est dans ce référentiel que seront donc définies les données venant de différentes sources, afin d'avoir une homogénéité et une précision. Il y a cinq ans, c'était le référentiel dans lequel était défini le vecteur qui était pris comme référence, car on se servait du vecteur pour caler les images raster. De nos jours, avec l'arrivée des scanners aux grands formats tel que le format AO, on utilise de plus en plus des images raster géoréférencées comme référentiel géographique.

Dans le cas d'Addis-Abeba, on disposait que de données raster. Ces différentes données étaient à même de jouer ce rôle de référentiel. La question était de savoir lesquelles retenir. Le choix s'est porté sur la mosaïque des cartes topographiques d'Addis-Abeba au 50 000 qui sont référencées. Sur ces cartes sont présents différents éléments de repérage à même d'être identifiés sur les autres ensembles d'information (les routes, les rivières, les lacs, etc.) C'est sur ces éléments que se fera l'essentiel de la mise en cohérence des différents ensembles de données constitutifs de la base.

Référence des cartes topographiques :

UTM (Universal Transverse Mercator) Zone 37.
39°00' E de Greenwich (méridien origine 0°00').
Clarke 1880 modifié
K=0.9996 (facteur d'échelle).
Datum Adinban (30th Arc).

La structuration de la base et le choix du référentiel est une étape importante, car tout le succès et la précision futurs des exploitations de la base en dépendent. Il est préférable de bien perdre le temps de structurer une base et de chercher le bon référentiel que de se rendre compte après coup que la structuration ou le référentiel pose un problème.

3. Préparation des données

3.1. Scannage des données

Après la définition de l'organisation et de la structuration de la base, on procède à la récupération des données nécessaires rentrant dans la constitution de la base. Dans notre cas, ces données étaient principalement disponibles sur support papier. Elles ont été scannées l'aide du logiciel UMAX MAGIC SCAN 4.3. Il faut souligner que le scannage est une étape très importante dans la récupération des

informations sur différentes cartes, images, photographies, ... Ainsi, pour les différentes données à scanner, on a utilisé les paramètres par défaut suivant :

- Opaque
- 256 couleurs (sachant que niveau de gris et couleur indexée étant la même car tous deux codés de 0 à 255)
- 400 dpi (choix fait à partir des différentes précisions que l'on veut obtenir).
- Sans détramage
- Aucun filtre.

Après scannage, on obtient des données maillées (raster) enregistrées au format TIFF et en mode couleur indexée (couleurs codées de 0 à 255).

Photos aériennes

Il est d'abord conseillé d'utiliser des photos aériennes assez sombre afin de conserver le maximum d'information au scannage. Si ce n'est pas le cas, comme pour Addis-Abeba, alors on peut, en plus des paramètres par défaut, rehausser le contraste en modifiant les paramètres de la photo de sortie. Dans le cas d'Addis-Abeba, on a recodé l'image de sortie de 10 à 150 couleurs.

3.2. Traitement des données scannées

L'un des problèmes majeurs généralement rencontré entre différents logiciels est le format d'échange des données. Les images scannées ne pouvant être intégrées directement dans SAVAMER, il a fallu les traiter (mettre aux différents modes voulus), et les enregistrer sous le format BMP.

Cartes topographiques

Au niveau des cartes topographiques, le traitement a consisté à créer le fichier de chaque carte scannée au format BMP, ensuite, selon les applications à faire sur chaque image maillée, deux modes ont été utilisés: le mode indexé (utile lorsqu'on veut faire des classifications à partir des valeurs des pixels) et le mode RVB. Tous ces traitements se font avec le logiciel Adobe Photoshop. Le logiciel Adobe Photoshop est un passage important des données scannées avant leur utilisation dans le SIG Savane. Mais Photoshop ne modifie en rien les données. Si au niveau du SIG Savane, on constate qu'il manque des informations sur les données, il faut alors reprendre le scannage des cartes tout en jouant sur certains paramètres comme la résolution afin de récupérer le plus d'informations.

4. Calage des données

4.1. Données raster

Le calage des cartes consiste à passer du référentiel image au référentiel géographique choisi au départ (UTM Zone 37). Cela se fait dans SAVAMER. Il faut tout d'abord définir au moins trois points de calage, appelés points d'amers, sur la carte scannée et dont les coordonnées sont facilement identifiables dans le référentiel géographique choisi. Les points doivent être facilement repérables, pris les plus éloignés possibles et non alignés.

Sur Addis-Abeba, les amers utilisés ont été tout simplement des croisillons du quadrillage UTM présent sur la carte. Pour le calage, plusieurs modèles de transformation existent :

Pour deux amers :

- Une translation : dans ce cas, l'image est déjà conforme à la projection géographique, la taille du pixel est connue, la translation n'est utilisée que pour localiser l'image. Elle n'effectue aucune transformation sur les pixels. Un seul point de référence est nécessaire pour effectuer une translation.
- Une translation et une rotation : c'est la transformation la plus simple à utiliser dans le cas où l'image serait géographiquement correcte mais doit subir une translation et une rotation pour être en conformité avec repère de la projection. Les distances dans l'image ne sont modifiées.
- Une similitude : c'est une translation et une rotation suivie d'une homothétie (mise à l'échelle). La similitude est à utiliser lorsque, pour être mise en conformité, avec une projection géographique, l'image doit subir une translation, une rotation, puis une mise à l'échelle. La mise à l'échelle est identique quelle que soit la direction (isométrie).

Pour trois amers :

- Une déformation polynomiale de degré 1 : cette déformation est identique à la similitude, sauf que la mise à l'échelle n'est pas identique quelle que soit la direction.
- Une déformation projective (ou homographie) : c'est une projection classique d'un plan sur un plan à partir d'un point. C'est la déformation naturelle obtenue sur une photographie, lorsque le terrain photographié correspond à un plan. Cette transformation doit être combinée à une déformation prenant en compte l'altitude, sinon l'échelle obtenue n'est pas correcte. Quatre points sont nécessaires pour fixer les coefficients de cette transformation, ce qui revient à calibrer la position de la caméra par rapport au plan de projection.
- Une déformation par triangulation : cette déformation combine une première transformation globale (rotation, similitude, polynomiale de degré 1, homographie), avec une déformation locale de degré 1 dans chaque triangle résultant d'une triangulation à partir des points d'amers saisis. Cette transformation est la plus efficace lorsque l'on ne dispose pas d'un modèle numérique de terrain permettant de connaître l'altitude en chaque point. En effet, elle établit un modèle de déformation polynomiale de degré 1 dans chaque triangle. La déformation correspond à un découpage de l'espace en facettes planes, et si le réseau de points d'amer est dense et homogène (et d'autant plus dense que les différences d'altitudes sont grandes), le redressement permet d'obtenir directement une image en conformité avec la projection géographique choisie. Ce type de déformation permet également d'assurer une jointure parfaite entre différentes images : une fois une image redressée, il suffit de saisir des points d'amers entre l'image redressée et l'image à caler pour faire coïncider les deux images.

Selon le nombre d'amers, on choisit le modèle correspondant. Pour trois points d'amers, il est conseillé d'utiliser " une déformation polynomiale de degré 1 " et pour plus de trois points " une déformation par triangulation ", l'option " une déformation projective " n'étant pas encore accessible. Plus il y a de points d'amers, plus la précision est importante. Lorsque le calage est fait, des fichiers sont créés avec le même nom de fichier de départ :

...R.BMP : C'est un fichier intermédiaire entre le fichier à caler et le fichier intégré (cf. 5.) dans la base.

...R.AMR : fichier des amers de l'image calée.

...R.CAR : fichier contenant des informations sur l'image calée.

Fichiers résultants du calage du fichier BMP.

Lorsqu'on a la même image scannée en deux modes différents (rvb, indexée, ...), il suffit de caler l'image en un mode ensuite faire une copie du fichier .AMR et lui donner le nom de l'image du deuxième mode, puis lancer le calage dans Savamer en choisissant le même modèle de transformation que le précédent. Cela est possible, parce que la géométrie n'a pas changé et seul le mode de codage les différencie. Le calage est important, car il permet de renseigner les pixels en leur donnant les dimensions réelles du terrain tel que chaque objet dans l'image puisse être superposable à chaque objet réel leur correspondant, leur différence donnant le moins d'erreurs possibles.

Cartes topographiques

Les cartes topographiques comportant des quadrillages UTM, il a été facile de saisir les points d'amers. Les coordonnées des croisillons du quadrillage UTM étant connues, il a suffi d'en prendre trois de manière répartie sur l'ensemble de la carte. Dans certains cas, si on a des objets sur la carte ayant des coordonnées connues, on peut les utiliser comme points d'amers. Le choix des amers fait, on peut appliquer le modèle de transformation "déformation polynomiale de degré 1" qui correspondait aux cas de trois amers.

Après calage, il est possible de vérifier le résultat obtenu : Soit en affichant le quadrillage UTM et voir s'il y a des superpositions. Soit en déterminant la distance entre les deux représentations d'un même objet. Les cartes topographiques bien calées, serviront de référence aux autres images.

Images SPOT panchromatiques

Le calage de l'image SPOT se fait par rapport aux cartes topographiques déjà intégrées dans la base (cf. 5.). Comme précédemment, pour caler nos images il faut définir au moins trois points d'amers communs avec la carte topographique. "Les points doivent être facilement identifiables, pris le plus éloignés possibles et non alignés". Les points doivent avoir leur correspondance sur la carte topographique (ex : gare, lac, intersection entre deux routes, etc.). On applique ensuite le modèle de transformation adapté "déformation par triangulation", car il faut plus de trois points d'amers pour avoir une superposition quasi parfaite des objets. Lorsqu'on a plusieurs images SPOT à différentes dates à caler, on cale d'abord l'une d'elles par rapport à la carte topographique, ensuite cette dernière servira de référence pour les autres images. Elle doit être auparavant intégrée dans une relation. Tant que la première image ne sera pas intégrée, elle ne pourra servir de support de calage aux autres. Il est important de bien caler la première image, car d'elle, dépendra le bon calage des autres. Le calage image SPOT par rapport à image SPOT suit la même procédure que celle d'image SPOT par rapport à la carte topographique et est plus aisé.

Photos aériennes

Le calage des photos aériennes a été fait par rapport à l'image SPOT calée. Lorsque la première photo aérienne est bien calée, et sachant que les photos ont en commun une zone de recouvrement d'environ 60%, pour la deuxième, il suffit de placer les trois points d'amers (au moins un sur la photographie aérienne et au moins un sur l'image SPOT), d'appliquer un modèle de transformation "déformation par triangulation", puis de faire une corrélation automatique; des points d'amers sont ajoutés automatiquement dans la zone de recouvrement (les points d'amers sont placés sur les mêmes objets se trouvant sur les deux photos). On applique une fois encore un modèle de transformation. Dans le cas des calages des photos d'Addis-Abeba, la corrélation automatique ne fonctionnait pas correctement, il a donc fallu placer les points d'amers manuellement ; ce qui n'a pas été chose aisée et a donc pris un certain temps.

La vérification

Pour la vérification, on utilise une méthode qui consiste à afficher de manière alternée l'image calée et la carte ou l'image servant de référentiel. On vérifie d'abord chaque point d'amer. Si un décalage existe, on le corrige puis on applique de nouveau le modèle de transformation. Ensuite, on passe à la vérification de la localisation des différents réseaux (route, hydrographie). Si le réseau de l'image est bien superposé au réseau de la carte ou de l'image de référence alors le calage est bon. Si ce n'est pas le cas, on ajoute un point d'amer à l'endroit où se trouve le problème de décalage. On parcourt ainsi l'ensemble de l'espace en visualisant en alternance les deux images et en repérant les points où des mauvaises superpositions sont repérées. Les points ajoutés, on applique, une fois encore, le modèle de transformation.

Les limites

Le calage dans l'ensemble nous a posé quelques problèmes notamment pour choisir les points d'amers à saisir. En effet, la saisie des points d'amers sur les cartes, images et photos aux différentes dates n'a pas été chose facile car il n'est pas toujours facile de repérer des objets qui sont restés identiques sur une période de dix ans. D'une date à l'autre, certains objets ont changé de formes ou n'existent plus, notamment parce qu'ils sont compris dans le tissu urbain de la ville d'Addis-Abeba. Dans le cas des

photos aériennes, la corrélation automatique n'a pas fonctionné (un point d'amer sur l'image à caler et l'image ou carte de référence n'était pas sur le même objet). Il a donc fallu le faire manuellement, mettre assez de points d'amers pour que les objets de la zone de recouvrement soient superposables.

4.2. Données vecteurs

Dans le cas des données vecteurs, on parlera plutôt d'une transformation par similitude. Lors de la transformation au format Mygale (.CAR, .DAT, ...: format propre à Savane), une zone d'emprise des vecteurs est créée dans le fichier .CAR. Cette zone est décrite par son point bas gauche et son point haut droit. Il suffit donc de modifier ces valeurs de telle sorte que le vecteur soit calé par rapport à l'image ou la carte de référence. Lors de cette modification on impose aux vecteurs une rotation, une translation et un facteur d'échelle. Pour la modification de ces valeurs il suffit d'ouvrir le fichier .CAR sur un éditeur de texte, de préférence WORDPAD.

5. Intégration des données

5.1. Données raster

L'intégration des données raster se fait dans Savamer après le calage. Lorsqu'une image ou carte est calée, on peut l'intégrer (sinon délimiter la zone qui nous intéresse et l'intégrée) dans la relation et l'attribut correspondant. Avant toute intégration, il faut s'assurer qu'on est dans la référence de l'image raster prise comme référentiel base car par défaut Savane ouvre toutes les données en coordonnées géographiques. Ainsi, donc, toutes les données dans la base seront dans le même référentiel. Lorsqu'on intègre plusieurs images ou cartes dans le même attribut de la même relation, on obtient une mosaïque. Mosaïque possible lorsque toutes les images et cartes ont été bien calées. L'intégration terminée, on peut visualiser les images contenues dans l'attribut de chaque relation. C'est ce qui nous permet de pouvoir caler une image par rapport à une autre. La première intégrée est toujours prise comme image de référence.

5.2. Données vecteurs

Contrairement aux données raster, l'intégration des données vecteurs se fait en deux étapes dans Savateca.

5.2.1. Intégration des objets graphiques

Tout objet devant être intégré dans la base peut être soit au format Mygale (.CAR, format propre de Savane) soit au format Shapefile (.shp, format Arcview). Il est préférable d'intégrer les objets au format Mygale. L'intégration se fait dans la relation à partir d'un attribut appelé clé. Dans Savane, chaque objet graphique est identifié par une clé (valeur nominale).

5.2.1.1. Objets provenant de Savedit

Les points cotés ont été saisis dans Savedit à partir des cartes topographiques. Dans Savedit, au moment de la saisie, on avait la possibilité d'affecter une clé et une altitude à chaque point. Un fichier texte (.TXT) est créé automatiquement. On y retrouve la valeur de chaque clé et leur altitude correspondante. Si ce n'est pas le cas, alors on peut créer le fichier texte contenant chaque clé et leur altitude correspondante. Lorsque la saisie est terminée, on passe dans Savateca pour l'intégration.

5.2.1.2. Objets importés

Dans Savane, il est possible d'importer directement du Shapefile (format Arcview). Le Shapefile est importé dans Savedit puis enregistré au format Mygale pour toute intégration dans la base. Au moment de l'import, on a la possibilité de récupérer les clés des objets sinon Savane attribue des clés par défaut. On a aussi la possibilité d'importer du DXF qui est transformé en Mygale grâce à Savimport. Souvent, au

moment de la transformation du DXF en Mygale, on a des problèmes de topologie. DXF, est en effet un format dit spaghetti c'est-à-dire qui n'a aucune structure topologique contrairement au format Shapefile qui provient lui d'un logiciel de SIG.

Pour éviter ce genre de problème, au moment de la transformation, ne pas sélectionner "générer une topologie d'arcs". L'opération terminée, on peut importer le nouveau fichier Mygale dans SAVEDIT afin de vérifier et corriger, si possible, la topologie en testant la simplicité des arcs (si on a un fichier de lignes), la fermeture des polygones (si on a un fichier de zones), ... Bien entendu qu'avant tout traitement on s'assure du calage du vecteur.

On peut aussi modifier la clé par défaut de chaque objet en leur attribuant la clé souhaitée, puis créer un fichier texte contenant la clé et autres informations, afin de faciliter l'intégration de ces objets graphiques et de leurs valeurs.

Unités administratives d'Addis-Abeba

Les unités administratives ont été digitalisées automatiquement dans Adobe Streamline. Cette numérisation a été faite à partir du fichier calé (...R.BMP) du fond de limites administratives au 100 000, ce qui nous permettait d'avoir du vecteur déjà calé. On obtient un fichier au format EPS, format transformé ensuite en DXF par le logiciel Cadmover (possible aussi avec Coreldraw) puis en Mygale afin d'être importé dans Savane.

Courbes de niveaux

La numérisation des courbes de niveaux s'est fait sur Microstation Descartes (logiciel permettant de faire de la numérisation semi-automatique à l'aide de filtre de couleur).

On a utilisé, comme fond, les cartes topographiques calées (fichier ...R.BMP). Si au niveau des cartes topographiques on constate une perte de l'information sur certaines courbes de niveaux (dans le cas d'Addis-Abeba, on a eu des dégradations des courbes de niveaux) ou autres données, alors il faut diminuer la résolution de l'image (exemple : passage de 10 mètres/pixels à 2.5 mètres/pixels) en reprenant tout simplement le calage dans Savamer. La numérisation a concerné uniquement les courbes maîtresses (équidistantes de 100 mètres), une question de temps (pour l'ensemble des quatre cartes topographiques, on a passé environ 60 heures à numériser les courbes maîtresses). Après la numérisation, on exporte les courbes de niveaux au format DXF. Lorsque toutes les données vecteurs sont au format Mygale, on peut les intégrer dans la base.

5.2.2. Intégration des valeurs

Après l'intégration des objets graphiques, il faut pouvoir les renseigner d'où l'intégration des valeurs. Les valeurs sont contenues dans le fichier texte (.TXT) créé contenant la clé et l'information sur l'objet. Ce fichier texte est un fichier ASCII, on l'intègre dans la relation en prenant un attribut (clé) comme une clé pour faire une jointure de telle sorte qu'il puisse affecter l'information (altitude, identifiant, ...) à chaque objet ayant la même clé. A la fin de l'intégration, s'il existe des erreurs (clé sans information, information sans clé), un fichier d'erreurs (.TXT) est créé. On peut le consulter afin de corriger ces erreurs.

Exemple: cas des courbes niveaux

Clé	Jointure	Clé	Altitude (mètres)
1		1	1900

Objets graphiques

Valeurs des objets graphiques

5.3. Données descriptives

Lorsqu'on a des données descriptives à intégrer dans la base afin de faire différents traitements, il faut au préalable définir les différentes variables comme attribut dans la relation souhaitée. On aura autant d'attributs que de variables. Le fichier des données descriptives doit être un fichier texte (.TXT) (fichier ASCII). Comme précédemment un attribut est pris comme clé pour la jointure. Après l'intégration, s'il y a un fichier d'erreurs résultant, on peut le consulter et les corriger.

Exemple : cas des unités administratives

Clé	Jointure	Clé	Identifiant	Jointure	Identifiant	Wereda	Type
309		309	17025		17025	17	KEBELE
330		330	17101		17101	17	FARMAS

Objets graphiques

Identifiants

Données descriptives

Pour avoir de bons traitements par la suite, il est conseillé de faire une intégration sans erreurs, et de savoir au préalable quel attribut sera pris comme clé pour la jointure entre les objets graphiques et les données descriptives. Le choix de l'attribut est important, car il permet d'associer à chaque objet graphique les données descriptives leur correspondant. Cet attribut pris comme clé doit absolument avoir des valeurs uniques, permettant ainsi d'éviter toute confusion d'objets.

A chaque fois qu'on est amené à refaire une intégration, ne pas oublier de réinitialiser la relation. Cela permet de détruire tous les objets et valeurs intégrés de mauvaise façon au préalable.

6. Exploitation des données de la base

L'exploitation de la base à consister à faire différents traitements sur les données, afin d'une part de tester la viabilité de la base et d'autre part de fournir un certain nombre de premiers indicateurs et moyens d'analyse du changement urbain à Addis-Abeba. Tous ces traitements ont été effectués dans le module SAVANE. Dans le cas d'Addis-Abeba, les premières informations demandées, étaient l'expansion du bâti entre différentes dates (65, 87 et 97), le modèle numérique de terrain et l'évolution de la population entre 1987 et 1997.

Lors d'un traitement, le résultat obtenu est stocké dans une relation temporaire soit contenu dans un attribut temporaire. Cette relation ou cet attribut temporaire disparaît lorsqu'on quitte Savane. Pour les conserver, on les enregistre sous forme de carte. Cette carte contiendra uniquement toutes les relations et leurs attributs qui sont dans la base au moment de leur création. Tous celles qui seront créées ensuite ni figureront pas. Sous Savane, une carte, en plus de côté graphique et représentation, contient un habillage avec un titre, amorces, quadrillages, légendes, etc. (cf. *Poster d'Addis-Abeba " Repérer, Extraire, ... "*, le poster a été exposé au Géoforum 2000 de Aix-en-Provence)

Avant tout traitement, il faut afficher la ou les relation(s) à traiter afin de définir une fenêtre de travail. Si ce n'est pas le cas, tous les traitements s'effectueront sur la fenêtre de travail défini lors de la création de la base, traitement qui sera long puisque cette fenêtre première est englobante.

6.1. Les images SPOT panchromatiques

En ce qui concerne les images SPOT, on a procédé d'une part par traitement d'image afin de récupérer les espaces minéralisés entre 87 et 97, et d'autre part par numérisation pour tracer les limites d'Addis-Abeba

(une manière de voir l'expansion de la ville aux différentes dates). Un espace minéralisé est un espace dont l'indice de brillance est élevé. Généralement, ces espaces sont des sols nus ou du bâti urbain, etc. Dans le cas d'Addis-Abeba, on a, par hypothèse, défini l'espace minéralisé comme du bâti urbain et on est à même de repérer ce qui correspond à des sols nus en milieu non urbain par leur position et leur forme.

6.1.1. Espaces minéralisés en 87 et 97

Pour la récupération des espaces minéralisés entre deux dates, différentes méthodes de traitement ont donc été utilisées:

La différence

La différence permet de récupérer entre deux images panchromatiques à différentes dates, les espaces dont la différence des indices de brillance est positive. Pour effectuer donc cette différence, il faut s'assurer que les deux images panchromatiques ont à peu près le même étalonnage. On compare d'abord leurs histogrammes respectifs, si les étalonnages sont différents comme dans le cas des deux panchromatiques sur Addis-Abeba, alors on essaie de les mettre au même étalonnage. Pour cela, on prend la moins étalonnée et on la multiplie par un coefficient. Dans notre cas, le panchromatique 87 a été multipliée par 1.65; on a obtenu une image panchromatique 87 étalonnée selon l'échelle des teintes de l'image 97.

La différence a donc été ensuite réalisée entre le panchromatique 97 et celle de 87 étalonnée. Sur l'image de cette différence, on a recherché la valeur seuil à partir de laquelle on peut considérer que l'espace était passé en minéral entre 87 et 97. Pour déterminer le seuil entre le minéral et le végétal, on procède pas à pas en faisant des classifications par intervalles. Pour débiter, on commence par réaliser une classification en deux classes autour de la moyenne. Les valeurs, comprises entre la valeur minimale et la moyenne, concernent la végétation. La détermination du seuil se fait de manière visuelle. A chaque classification, un nouvel attribut temporaire est créé et, comme les autres, visualisé. Le plus important était de pouvoir différencier la ville d'Addis-Abeba et ses environs, il a fallu trouver un seuil qui montre cette expansion tout en englobant le moins possible de points isolés. Ainsi, on a retenu un seuil de 140. L'intervalle [140; 256[donne une idée des espaces qui se sont minéralisés entre 87 et 97. On peut alors récupérer ces espaces en faisant une restriction sur l'intervalle [140; 256[puis une vectorisation. Une nouvelle relation temporaire zonale est ainsi créée et est visualisable.

Il existe une autre méthode de différence dite différence normalisée. C'est le rapport entre la différence des deux panchromatiques pris tels quels sur leur somme. On peut ensuite lui appliquer une classification qui suit le même procédé que pour la simple différence.

L'indice d'hétérogénéité locale

Ce qui différencie les espaces bâtis des sols nus non urbains, c'est la grande hétérogénéité du milieu urbain : de multiples objets de degré de minéralisation très divers s'y côtoient. Les espaces minéralisés non urbains sont généralement des surfaces très uniformes. Dans le cas d'Addis-Abeba, un calcul à partir de l'écart type a été choisi sur le panchromatique 97 avec une maille de 7. Ensuite, comme pour la différence, on a recherché un seuil à partir duquel l'espace est considéré comme bâti. Le seuil obtenu est 8 et l'intervalle est [8; 256[. Intervalle qui sera restreint puis vectorisé.

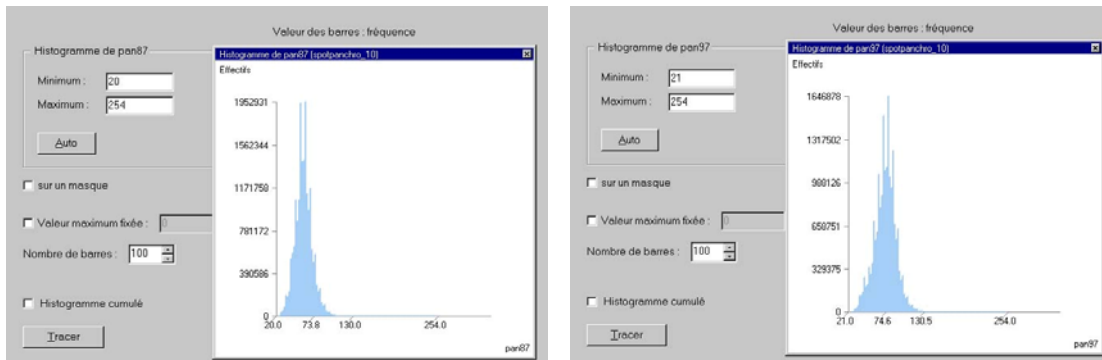
Lorsque les résultats des deux méthodes (différence et hétérogénéité) sont obtenus, on les croise afin d'avoir les espaces minéralisés entre 87 et 97 qui s'avèrent être des bâtis nouveaux. On crée un masque sur la relation temporaire de l'hétérogénéité, puis on le restreint à celle de la différence. Une autre méthode est de faire une géojointure entre les deux relations temporaires. On obtient le même résultat.

6.1.2. La composition colorée

La composition colorée est définie, comme son nom l'indique, par la composition de différents canaux affectés à différentes couleurs (RVB: Rouge, Vert et Bleu). La panchromatique est un seul canal, on a donc utilisé les deux panchromatiques. Dans le cas, de la composition colorée, les deux panchromatiques doivent être étalonnés.

6.1.2.1. Etalonnage des panchromatiques

Avant tout étalonnage, on visualise d'abord leurs histogrammes respectifs de façon à comparer la forme des histogrammes.



Panchromatique 87

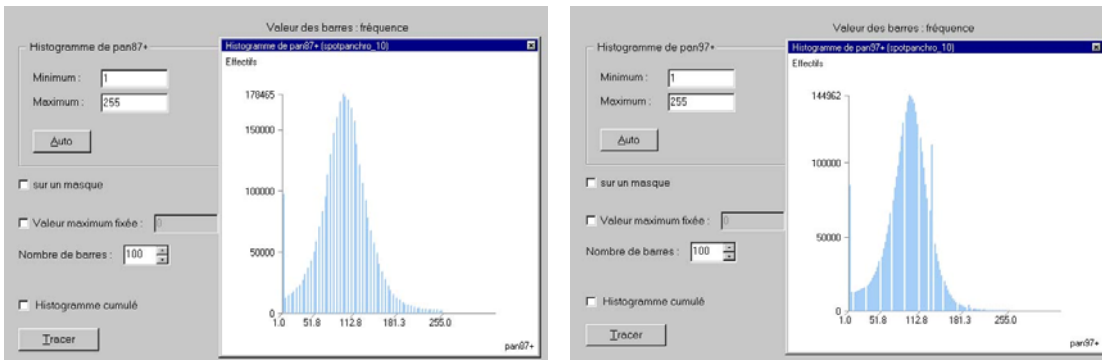
Panchromatique 97

Ensuite, on applique la formule suivante : (panchromatique - valeur minimale) * coefficient.

Le coefficient étant le rapport de 255 sur la différence entre la valeur maximale (max) et la valeur minimale (min) : $(255 / (\max - \min))$. Dans la pratique, le coefficient utilisé est plus grand que celle calculé, pour avoir un bon étalonnage des panchromatiques. Dans le cas d'Addis-Abeba, on a appliqué les formules:

Pour le panchromatique 87 : $(\text{panchromatique}_{87} - 40) * 4.90$

Pour le panchromatique 97 : $(\text{panchromatique}_{97} - 40) * 3.90$

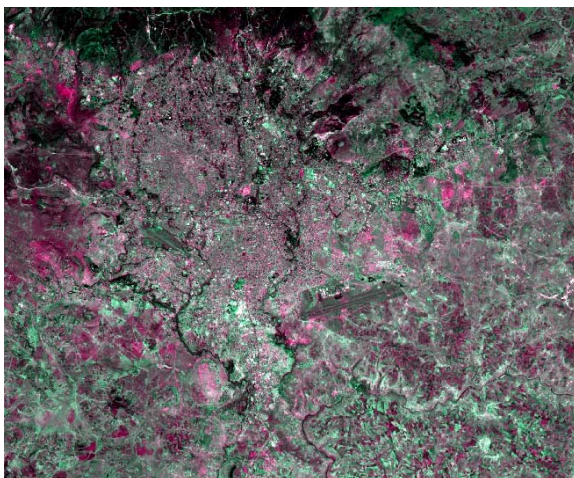


Panchromatique 87 étalonné

Panchromatique 97 étalonné

6.1.2.2. Composition colorée

Après l'étalonnage, deux attributs temporaires (pan87+ : pour panchromatique 87 étalonnée, pan97+ : pour panchromatique 97 étalonnée) ont été créés. Les deux panchromatiques étalonnées serviront à faire la composition colorée. Ainsi, on a affecté: Pan 97 au Rouge, pan 87 au Vert, et, ne voulant pas faire intervenir le bleu dans la composition colorée, on a simplement affecté au Bleu la moyenne de pan 87 et pan 97. Lorsqu'on obtient une composition colorée dont les couleurs ne sont pas assez renforcées, il suffit de refaire l'étalonnage du panchromatique concerné en jouant sur le coefficient. Sur la composition colorée, on peut aussi distinguer certains nombres d'espaces bâtis apparus entre 87 et 97. Ces espaces apparaissent en rouge.



Composition colorée sur la ville d'Addis-Abeba.

Les différents traitements effectués sur les différents panchromatiques donnent une idée sur l'expansion des espaces minéralisés, mais ne permettent pas de bien distinguer les surfaces végétales. Il faut aussi dire que les panchromatiques 87 et 97 ont été pris respectivement en novembre et en décembre, période de saison sèche d'où une forte minéralisation du sol.

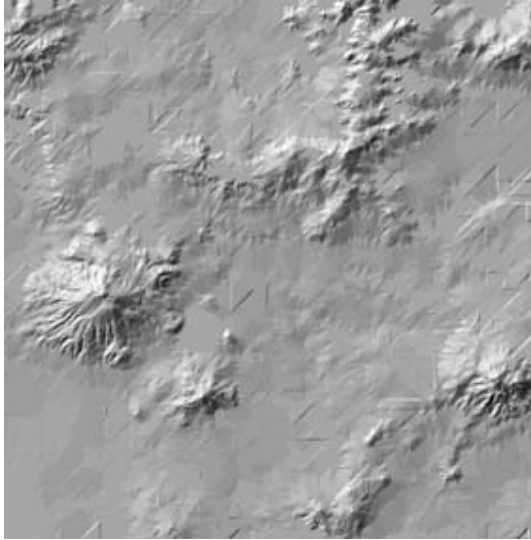
La période sèche est une très bonne période pour saisir le minéral. La saison humide (par exemple fin août, le développement végétal est à son maximum) est une très bonne période pour saisir le végétal dans son état le plus développé. On comprend assez bien que l'on disposait d'une meilleure délimitation de l'espace bâti en réalisant le croisement des deux sources. Un des résultats importants de l'exploitation test de la base a été de montrer qu'il serait tout à fait pertinent de la compléter par l'intégration d'images multispectrales à deux dates, d'une part, pour mieux distinguer le végétal du minéral, à travers le calcul de l'indice de végétation et de brillance, d'autre part, pour mieux distinguer les surfaces d'eau. (cf. *Document sur Abidjan* <http://www.bondy.ird.fr/cvd/BNETD/page0.html>) B. LORTIC, P. RAKOTOMALALA, D. COURET) Pour faciliter la reprise de ces différentes étapes, les chaînes de traitements sont enregistrées sous forme de macro (enchaînement de plusieurs commandes simples mémorisées ayant servi au traitement).

6.2. Modèle numérique de terrain (MNT)

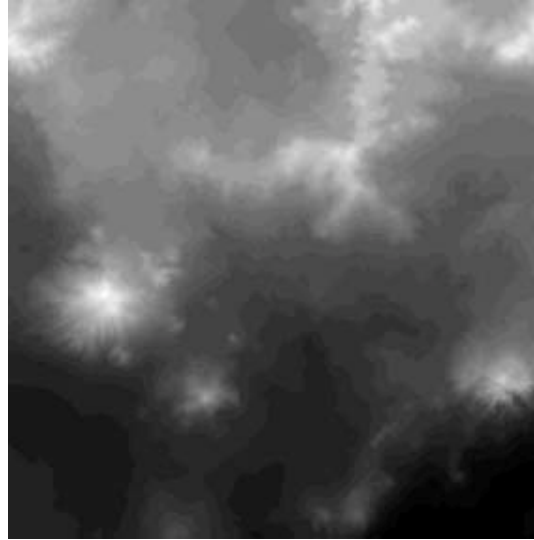
6.2.1. MNT

Comme certains logiciels de SIG, Savane permet de faire du MNT par interpolation des altitudes des courbes de niveaux et des points cotés.

D'abord, on affiche les courbes de niveaux et les points cotés. Ensuite, il faut définir une fenêtre délimitant la zone des courbes de niveaux et des points cotés, puis le calcul d'interpolation peut être appliqué. On obtient une relation raster temporaire qu'on peut visualiser soit par illumination, soit par couleur.



MNT par illumination



MNT par couleur

Le MNT a été réalisé avec des courbes de niveaux maîtresses équidistantes de 100m. Si toutes les courbes (équidistance de 20m) avaient été digitalisées, alors on aurait eu un MNT nettement meilleur.

6.2.2. Utilité du MNT

Prévention des risques d'inondation

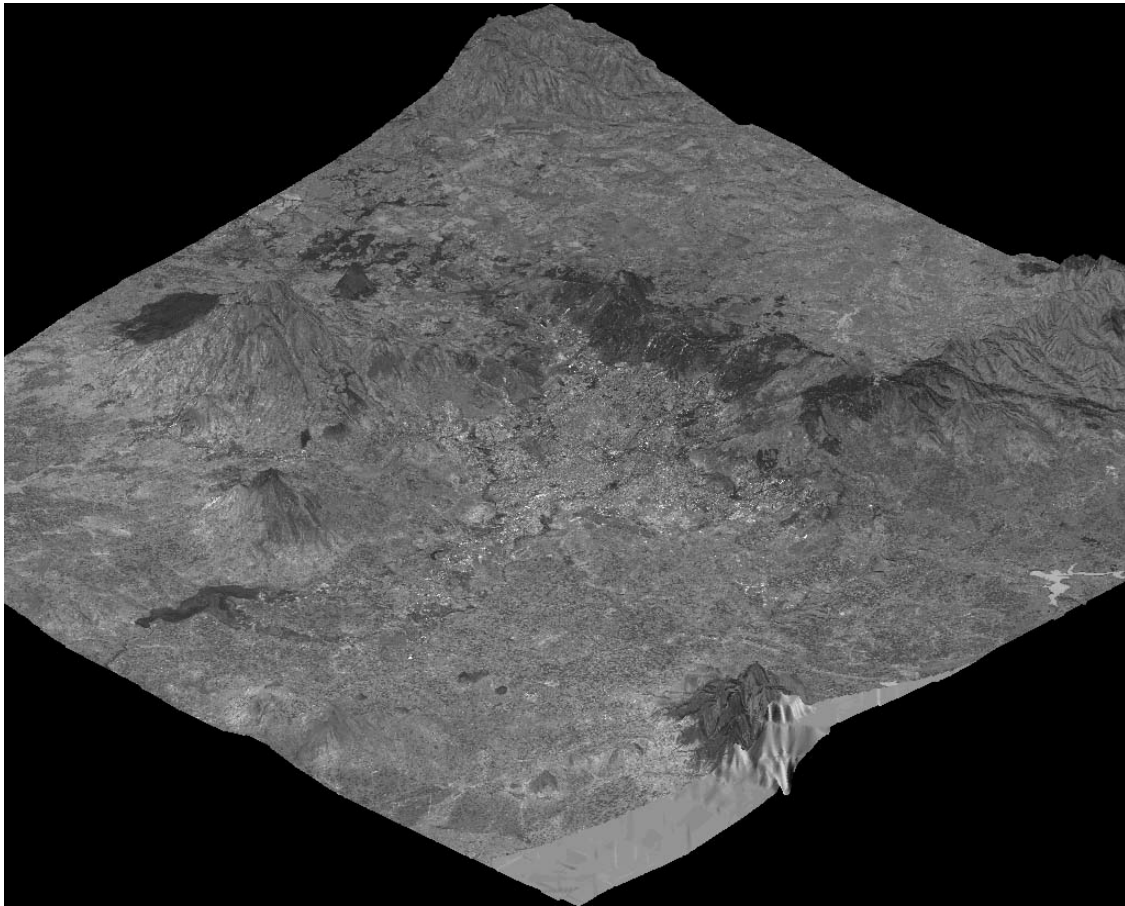
Le MNT est utile pour la prévention des risques d'inondations. Car il permet de repérer, d'extraire et analyser les zones inondables. Ce qui permettra soit d'interdire certaines constructions dans ces zones, soit de construire des canalisations. Il peut aussi être utile pour la construction de barrages, de réseaux routiers, etc.

Calcul de pente

Le calcul de pente, dans une région donnée, est un facteur important qui permet de mieux comprendre l'occupation du sol. Le calcul de pente s'applique sur le MNT.

Vue en perspective

La vue en perspective s'avère un moyen important pour visualiser et observer la morphologie du terrain. Elle permet de découvrir certains endroits qu'on ne peut observer sur un simple MNT. La vue en perspective d'une image panchromatique à l'aide du fichier des altitudes est intéressante car on associe deux sources d'informations différentes. Celle-ci est un meilleur support d'analyse visuelle puisqu'elle permet d'intégrer la pente et le relief à l'analyse. On saisit ainsi beaucoup mieux la façon dont la tache urbaine d'Addis-Abeba se développe dans quatre directions principales et sans apparemment s'attaquer notablement aux pentes du massif d'Entoto (relief du Nord de la ville).



Vue en perspective du panchromatique 97 à l'aide du fichier des altitudes

6.3. Espaces urbains

6.3.1. Numérisation des espaces urbains

D'une manière générale, la meilleure façon de saisir l'évolution morphologique d'une ville est de comparer des images satellites ou des photos aériennes prises à des dates différentes en choisissant de leur appliquer des critères similaires de délimitation du tissu urbain. Pour extraire les limites de la ville aux différentes dates, on a procédé à une détermination du périmètre urbain par numérisation sur écran, dans Sivedit. On a la possibilité d'afficher une image raster dans Sivedit, et sur laquelle on peut numériser. Ce qui n'était pas le cas il y a quelques années. Numérisation et extraction sont faites par synthèse visuelle "à l'œil"; et à partir d'un critère de proximité géographique, à savoir regrouper tous les bâtis distants de moins de 200 m. Il a fallu digitaliser à un zoom assez important afin de bien repérer et distinguer l'espace urbain. Les limites de ces espaces urbains ne sont pas d'une grande précision, mais elles permettent au moins d'avoir une image globale d'extension de la ville aux différentes dates, surtout de repérer les axes d'évolution d'Addis-Abeba. Ces espaces urbains (65, 87 et 97) ont été intégrés chacun dans une nouvelle relation zonale.

(cf. annexe3 : [Expansion du bâti urbain à Addis-Abeba](#))

Exemple : Tableau des surfaces urbaines numérisées

Date	Surface bâti (km ²)
1965	73
1987	127
1997	187

6.3.2. Vue en perspective des espaces urbains à l'aide du fichier des altitudes

Les vue perspective des différents espaces urbains à l'aide du fichier des altitudes est une manière d'évaluer l'expansion de la ville en fonction des pentes. Il en ressort qu'on obtient une information plus pertinente et efficace en intégrant relief et pentes dans la connaissance de l'expansion de la ville. C'est une des grandes qualités de Savane de permettre l'analyse spatiale simultanée de plusieurs données géographiques différentes.

(cf. annexe3: [Expansion du bâti urbain à Addis-Abeba \(vue en perspective\)](#))

Dans le cas d'Addis-Abeba, l'expansion s'est plutôt fait au sud, un peu plus à l'Est dans les cuvettes et à l'Ouest. Les pentes ont empêché une expansion plus au nord.

L'expansion de ces espaces urbains s'explique:

- D'une part, par la construction de nouveaux quartiers sous formes de lotissements, soit par le gouvernement, soit par les sociétés privées pour y loger certains de leurs employés.
- D'autre part, des occupations périphériques diffuses (les quartiers dits " du clair de lune" car construits dans la clandestinité sur des zones non loties, ils semblent avoir poussés en une nuit).
- Enfin par une densification interne des anciens quartiers (tache urbaine 65).

6.4. Densité et évolution de population

Disposant d'unités administratives de la région d'Addis-Abeba, et des données de recensement de population en 1984 et en 1994 leur correspondant, on a effectué différents traitements exploratoires, à savoir le calcul de densité et de croissance de population entre ces deux dates. Ces traitements ont permis de découvrir qu'une partie des données du recensement en 1984 était absente et que la couverture censale de la ville incomplète. Les données manquantes concernent la partie sud de la ville. L'équipe du projet s'occupera donc de rechercher les données manquantes lors de leur prochaine mission à Addis-Abeba. Le calcul de densité a donc été fait sur les unités administratives pour lesquelles on disposait de données aux deux dates. La comparaison des densités et le calcul du taux d'évolution de population, entre les deux dates, concernent uniquement la zone Nord des unités administratives.

Densité de population

(cf. annexe3 : Densité de population par communes [en 1984](#), [en 1994](#), [en 1984 et 1994](#))

Evolution de population entre 84 et 94

(cf. annexe3 : [Variation de population entre 1984 et 1994](#))

Analyse et Interprétation

Les unités administratives sont composées d'unités urbaines (Kébéélé) et rurales (Farmas). Les plus fortes densités se localisent dans le centre ville, le long de la voie ferrée (partant du centre au sud-est) et dans les zones industrialisées.

6.5. Réseau hydrographique

Une méthode intéressante dans Savane est l'extraction de certains thèmes à partir des valeurs de pixels. Valeurs de pixels correspondant au réseau hydrographique sur le fond topographie en mode indexé. Lorsque le thème voulu est récupéré, on peut le vectoriser puis l'exporter en Shapefile ou en Mygale. Dans le cas d'Addis-Abeba, on a tenté cette méthode pour essayer de récupérer le réseau hydrographique à partir des cartes topographiques au 50 000 " rasterisées ". On s'est cependant heurté à quelques problèmes :

- Problème de palette de couleur du fond topographique en mode indexé, qui ne permettait pas d'avoir les bonnes valeurs de pixels du réseau hydrographique.
- Problème d'exportation du vecteur en Mygale et en Shapefile car il y avait trop de zones.

Pour la récupération du réseau hydrographique, il s'est donc avéré préférable de faire une saisie soit sur Savedit à partir des fonds topographiques, soit de le dessiner sur un calque puis faire de la digite automatique.

Conclusion

L'exploitation des données de la base a permis de tester d'une part la cohérence, la viabilité et l'utilité des ensembles de données intégrées d'autre part les différentes fonctionnalités de Savane qui permettent à l'utilisateur de repérer, d'extraire et de caractériser les formes du changement urbain. Une des qualités du SIG Savane réside dans les possibilités offertes d'analyse spatiale. Analyse spatiale qui a permis de voir sous différents angles (MNT, vue en perspective, etc) l'expansion du bâti urbain entre 1965 et 1997.

7. Exportation de la base

D'une manière générale, les SIGs ne disposent pas d'un véritable format d'échange permettant d'exporter la totalité de la base avec toute sa cohérence (données géométriques, descriptives et topologiques). Afin d'éviter ce genre de problème des tentatives de normalisation ont lieu au niveau international. Au niveau national, certains pays comme la France ont développé leur propre norme. Dans le cas du SIG Savane, on a la possibilité d'exporter les données de la base dans le SIG Arcview (passage du format Mygale au format Shapefile). Cette exportation se fait en deux étapes : Exportation des données vecteurs. Exportation des données raster.

7.1. Données vecteurs

L'exportation des données vecteurs se fait dans Savane. Elles sont exportées au format Shapefile (format Arcview). Une chose importante reste à souligner, la projection dans laquelle est définie la base dans Arcview. On ne peut en effet travailler, dans Arcview, qu'avec une seule projection. Projection définie dès le départ avant toute importation de données vecteurs. Dans le cas d'Addis-Abeba, on a conservé la référence des cartes topographiques (UTM). Il a donc fallu exporter toutes les données vecteurs en coordonnées de projection UTM. Avant l'export il est important de rester dans la fenêtre de travail défini tout au début de la création de la base (fenêtre englobant toute la base), ou dans chaque fenêtre englobant les données vecteurs de chaque relation. Lors de l'exportation, seuls les données contenues dans la fenêtre sont prises en compte. Lorsqu'on a des données vecteurs et descriptives, on les exporte séparément puis on demande au SIG destinataire de reconstituer le lien entre ces données.

7.2. Données raster

L'exportation des données raster se fait dans Savamer. Lors de l'exportation, deux fichiers sont créés. Un fichier .bmp contenant l'image et un fichier .car contenant les informations sur l'image. Dans Arcview, le fichier .car n'est pas lisible, il faut donc transformer ce fichier en un fichier de " géoréférencement " .bpw. Le fichier .bpw est un fichier composé de 6 lignes de nombres à 14 décimales :

Ligne 1 : taille du pixel en x (résolution dans .car)

Ligne 2 : rotation du pixel en x (en général 0.00000000000000)

Ligne 3 : rotation du pixel en y (en général 0.00000000000000)

Ligne 4 : taille du pixel en y précédé de (-) (résolution dans .car)

Ligne 5 : coordonnée en x (xbas dans .car)

*Ligne 6 : coordonnée en y ($y = y_{bas} + n_{lignes} * résolution$; car dans Arcview le point de référence (point origine) est le point haut gauche contrairement à Savane qui est le point bas gauche).*
Lorsque le fichier .bpw est créé, on peut ouvrir sans difficultés les images dans Arcview.

Conclusion

La constitution de la base de données géographiques sur Addis-Abeba a été l'occasion d'une bonne pratique :

- Des SIGs avec les logiciels Savane et Arcview, un outil efficace d'organisation et de structuration de l'information géographique et comme un outil d'exploitation performant.
- De la cartographie d'édition et de présentation avec la réalisation de posters, l'un qui a été exposé au Géoforum 2000 de Aix-en-Provence du 28 au 30 Mai, un autre qui sera exposé au Salon d'Infographie de St Dié du 29 septembre au 1^{er} octobre 2000.
- Mais surtout de la démarche qui régie constitution et test d'une base de données créée dans l'objectif ciblé de servir un projet de recherche particulier.

Tout le long de la constitution de la base de données quelques difficultés ont cependant subsisté, côté logiciel comme côté données.

Difficultés

Savane est un logiciel de SIG développé par l'IRD, et qui est toujours en amélioration au niveau de certaines fonctions. Il n'a pas la qualité de finition des logiciels du commerce mais il permet l'expérimentation rapide.

Calage :

Au niveau du calage, la corrélation automatique reste une des fonctions importantes à améliorer dans Savamer. Elle permettra ainsi d'éviter le placement manuel des points d'amers sur la zone de recouvrement entre deux images raster.

Importation :

Formats d'importation limités pour les données vecteurs.

Exportation :

Comme pour l'importation, les formats d'exportation sont limités d'où la difficulté à passer sur un logiciel de DAO pour améliorer sa carte.

Palette de couleur :

La gestion de la palette de couleur n'est pas un problème de Savane mais plutôt un problème de Windows. En effet, Windows ne gère qu'une seule palette de couleur. Lors de l'affichage de deux images raster en mode indexé (une en niveau de gris et une en couleur), la deuxième à être affichée prend la palette de la première. Par exemple si la première image est en niveau de gris alors la seconde, qui est à l'origine en couleur, se trouvera être visualisée en niveau de gris.

Avantages

Malgré les quelques difficultés rencontrées, Savane reste un logiciel SIG convivial. Il impose une certaine rigueur à son utilisateur. Rigueur qui est importante dans toute réalisation de bases de données. Mais qui oblige surtout à réfléchir et à maîtriser toutes les dimensions de l'information géographique. Dans l'ensemble, le stage a été d'un grand intérêt. Il a permis à partir de données de sources et de dates différentes, et d'un logiciel de SIG, de :

- Constituer une base de données localisées sur une capitale d'un pays en voie développement ; afin d'étudier l'expansion du bâti urbain entre 1965 et 1997.
- Documenter au préalable un projet d'études et de recherche sur la ville d'Addis-Abeba, une première approche géographique par l'équipe.

Le stage m'a permis de travailler dans un milieu professionnel où se côtoient différents chercheurs, informaticiens et cartographes.

Glossaire

- **IRD**: Institut pour la Recherche et le Développement.
- **ORSTOM** : Organisme de Recherches Scientifiques et Techniques d'Outre-Mer.
- **LCA** : Laboratoire de Cartographie Appliquée
- **SIG** : Système d'Informations Géographiques.
- **MNT** : Modèle Numérique de Terrain.
- **SPOT** : Système Probatoire d'Observation de la Terre. (c'est un satellite)
- **Mygale**: Le format Mygale est un format du SIG Savane
- **DXF** : Le format DXF est un format standard d'échange de données graphiques. Il a été mis au point par AUTODESK, concepteur d'AutoCAD.
- **Shapefile**: Le format Shapefile est un format du SIG Arcview.
- **BMP**: Bitmap
- **UTM** : Universal Transverse Mercator. C'est une projection sur un cylindre elliptique à la terre le long d'un méridien ; l'axe du méridien étant compris dans le plan équatorial. L'image du méridien central est une droite, et, les parallèles et les méridiens sont courbes mais demeurent orthogonaux. La projection est conforme c'est-à-dire qu'il y a conservation des angles.
- **Clarke 1880 modifié** : paramètres de l'ellipsoïde

Grand côté (a) : 6378429.1388
Excentricité (e) : 0.00680348102

Bibliographie

- *Texte de présentation du programme Addis-Abeba, document interne.*
D. COURET, A. OUALLET, B. TAMRU
- *Document Savane disponible sur le site du LCA.* (<http://www.bondy.ird.fr/carto>)
E. HABERT, B. LORTIC, M. SOURIS
- *Document sur IRD* (<http://www.ird.fr>)
- *Document sur Abidjan* (Côte d'Ivoire)

(<http://www.bondy.ird.fr/cvd/BNETD/page0.html>)

B. LORTIC, P. RAKOTOMALALA, D. COURET

Annexes

Annexe 1 : Listes des données utilisées

Date	Nature source	Echelle	Fonction	Nom et descriptif
13 Novembre 1965	Photos Aériennes Fond UR	1 / 46 000		VHC 1370 PMW AF-58-3 13NOV65 R-46 Ville d'Addis-Abeba 4007 - 4006 - 4005 Et région 4083 - 4084 4025 - 4026 - 4027
1973	Cartographie	1 / 50 000	Carte topographique	ADDIS ABABA S.W. Séries SMD4 (DOS 450) Sheet 0838 B1 Edition 1 SMD/DOS 1973 = Aba Samuel Lake
1975	Cartographie	1 / 50 000	Carte topographique	ADDIS ABABA S.E. Séries SMD4 (DOS 450) Sheet 0838 B2 Edition 1 SMD/DOS 1975 Ville de DEBRE ZEYT
1982	Cartographie	1 / 50 000	Carte topographique	ADDIS ABABA N.W. Séries ETH4 Sheet 0938 D3 édition 2 EMA 1982 = lac GEFERSA
1982	Cartographie	1 / 50 000	Carte topographique	ADDIS ABABA N.E. Séries ETH4 Sheet 0938 D4 édition 2 EMA 1982 = lac LEGE DADI
1994	Cartographie	??	Découpage région 14	Région administrative d'Addis-Abeba Conseil régional, 28 weredas, 10 kebelés/weredas
23 Novembre	Image SPOT			Spot panchromatique résolution 10m/10m

1987				(Incidence : 6°17' droit)
14 Décembre 1997	Image SPOT			Spot panchromatique résolution 10m/10m (Incidence : 15°26' droit)

Annexe 2 : Quelques exemples de manipulation du SIG Savane

Mise en place de la base de données

- Structuration des données de la base

Cette structuration se fait dans Savateca:

- Création de la base

Menu Base / Créer

- Description de la base

Menu Schéma / relations

Lorsque la fenêtre apparaît, on crée une relation en cliquant sur créer. Ensuite on a la possibilité de choisir le type de relation (raster, points, lignes, polygones).

Menu Schéma / attributs

Lorsque la fenêtre apparaît, on choisit la relation dans laquelle va être créé l'attribut puis on clique sur ajouter. On a aussi de choisir le type d'attribut.

- Vue externe

Menu Vues externes / créer, modifier, supprimer

A chaque fois que de nouvelles relations et de nouveaux attributs sont ajoutés à ceux déjà existant, on modifie la vue externe afin qu'ils soient accessibles par l'utilisateur.

- Utilisateur

Menu Utilisateur / créer, supprimer

- Choix du référentiel

Menu Map...

Calage des données

- Données raster

Le calage des données raster se fait dans Savamer.

Après avoir placé les points d'amers, on les enregistre (Menu Image / sauver les amers), puis on fait le redressement de l'image (Menu Image / redressement. On précise alors la résolution souhaitée pour l'image)

- La vérification

Pour la vérification, on a: Menu Vue / Alternner.

Intégration des données

- Données raster

L'intégration des données raster se fait dans Savamer.

Menu Image / intégrer

On choisit ensuite les options "remplacer les valeurs existantes et par polygones", puis on a la possibilité de délimiter la zone voulue.

- Données vecteurs et descriptives

L'intégration des données vecteurs et descriptives se fait dans Savateca.

Menu Objet / intégrer / Mygale

On choisit par la suite l'attribut de la relation où on va faire l'intégration. Cet attribut est pris comme clé.

Menu Objet / valeur / fichier ASCII

On choisit la relation et l'attribut considéré comme clé afin de faire correspondre à chaque objet graphique son information descriptive.

Exploitation de la base de données

L'exploitation de la base de données se fait dans le module principal de Savane.

Pour afficher le contenu d'une relation, on a deux possibilités:

Soit le clique droit puis sélection de contenu

Soit Menu Cadre / contenu

- La différence

Menu Cris / numérique / formule

- L'écart type

Menu Planet / filtres

- Composition colorée

Menu Planet / composition colorée

- MNT

Menu Babel / interpolation

On choisit l'attribut altitude des relations courbes de niveaux et points côtés.

On définit au préalable une fenêtre englobant la zone courbes de niveaux et points côtés (Menu Wind / sur écran). Pour conserver cette fenêtre pour ne pas avoir à le refaire à chaque fois, on l'enregistre (Menu Wind / fichier / sauver). Pour la rappeler (Menu Wind / fichier / charger)

- Vue en perspective

Menu Cadre / Vue en perspective.

Il est également possible de faire des animations 3D. Menu Cadre / animation 3D

Exportation de la base

- Données vecteurs

Menu Cadre / exporter / Shapefile

- Données raster

L'exportation des données raster se fait dans Savamer.

Menu Mosaïque / exporter

Annexe 3 : Cartes réalisées

Cartes reparties dans le texte

6.3.1. Numérisation des espaces urbains

Carte1 : Expansion du bâti urbain à Addis-Abeba.

6.3.2. Vue en perspective des espaces urbains à l'aide du fichier des altitudes

Carte2 : Expansion du bâti urbain à Addis-Abeba.

6.4. Densité et évolution de population

Carte3 : Densité de population par communes en 1994

Carte4 : Densité de population par communes en 1984

Carte5 : Densité de population par communes

Carte6 : Variation de population entre 1984 et 1994 par communes