

FUSION DE DONNEES TOPOGRAPHIQUES POUR LA REALISATION D'UN MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN APPLICATION A LA MODELISATION DE LA CRUE DU NIGER

Société d'accueil : IRD / UMR G-EAU

PFE présenté par : Elodie PARIS

Co-Directeurs du PFE : Jean-Stéphane BAILLY, Gilles BELAUD

Correcteurs : Agnès HERRMANN, Gilbert FERHAT



1. Contexte

L'accès à la ressource en eau est au cœur des préoccupations actuelles à l'échelle mondiale, en particulier sur le continent africain, où la ressource est mal répartie et son accès plus difficile. Elle est de ce fait le thème de nombreuses études. Ce projet vise le fleuve Niger en Afrique qui est encore relativement aménagé mais pour lequel de grands projets sont en cours ou prévus. Long de plus de 4 200 km, le fleuve se divise en un delta dans sa partie malienne au Sahel. Cette dernière appelée Delta Intérieur du Niger (DIN) est l'objet de cette étude (Figure 1). D'une richesse extraordinaire, le DIN abrite un à trois millions d'habitants vivant au rythme de la crue et décrue annuelles du fleuve. Avec des altitudes variant d'environ huit mètres sur une longueur de 500 km entre l'amont et l'aval, la zone est plate. Ainsi au moment de la montée des eaux, une superficie de l'ordre de 20 000 km² se voit inondée, favorisant une production de biomasse importante. De nombreuses activités économiques en sont totalement dépendantes : pêche, élevage, riziculture, ...

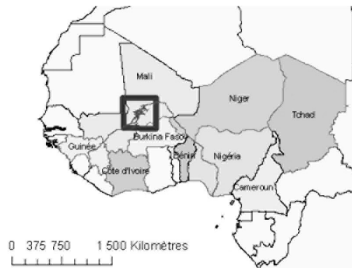


Figure 1 : Situation du DIN (encadré)

Dans les années 1970, le delta a été touché par une importante période de sécheresse et depuis une baisse des surfaces inondées se fait ressentir bouleversant ainsi l'écosystème implanté. D'importants aménagements ont été également réalisés ou sont à prévoir pour les années futures. Afin de prédire l'impact de ces aménagements et des changements climatiques, les hydrologues cherchent à construire un modèle hydraulique du DIN. Le travail du géomètre-topographe vise à fournir des profils en travers sur les principaux chenaux d'écoulement, des profils de berge pour prévoir les niveaux de débordement, des cubatures des différentes zones de débordement du fleuve (plaine inondée). Pour répondre à ces besoins, le géomètre-topographe doit fournir un Modèle Numérique de Terrain (MNT) adapté aux besoins de l'hydraulique d'où seront tirées toutes ces informations.

2. Inventaire et structuration des données

2.1. Les données « sol »

Une étude de modélisation du bassin du Niger a été réalisée dans les années 1980 et fournit des informations de divers types : plus de 120 documents cartographiques au 1:50 000 (photographies redressées et mosaïquées) qu'il a fallu géoréférencer, des points altimétriques à digitaliser servant de points de référence pour les études statistiques (8000 points ont été digitalisés sur 15000 estimés) et des profils en long et travers résultant des travaux de nivellement.

D'autres observations acquises, grâce au système GPS durant les dernières missions terrain, permettent de déterminer des points de référence connus dans deux systèmes (WGS84 et Nivellement Général de l'Afrique de l'Ouest (NGAO)) afin d'établir un modèle de transformation. Ces

derniers ont fait l'objet de mesures longues avec un seul récepteur bi-fréquences, permettant ainsi d'obtenir une précision centimétrique. Par la suite, ils ont servi de pivot pour des mesures en temps réel avec deux récepteurs.

2.2. Les modèles globaux de surface

Actuellement, grâce à l'acquisition de mesures faites à partir des satellites, des Modèles Numériques de Surface (MNS) (Figure 2) globaux sont disponibles à l'échelle mondiale. Cependant compte tenu du peu de végétation et d'habitations dans notre zone, le MNS sera assimilé à un MNT. Au vu de la résolution spatiale annoncée, deux produits ont fait l'objet d'une étude plus approfondie :

- SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de la NASA avec une résolution au sol de 90 m,
- ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), dernier produit de la NASA et du METI (ministère japonais) avec une résolution de 30 m.



Figure 2 : Différence entre un MNS et un MNT (Source : Christian Puech, 2000)

Malgré le gain de résolution entre ces deux produits, il s'avère que le second présente de nombreux défauts et artefacts et une moins bonne précision absolue est annoncée (+/- 30 m en planimétrie et +/- 20 m en altimétrie contre respectivement +/- 20 m et +/- 16 m pour SRTM). Sur le DIN, en raison de la platitude du terrain, les erreurs liées au relief sont estompées et une meilleure précision relative est atteinte.

Une extraction automatique des réseaux hydrographiques à partir de ces différents produits a été réalisée sur des dalles tests afin d'évaluer avant tout la qualité de représentation morphologique du terrain de ces produits. ASTER présente trop de défauts pour pouvoir en tirer des informations utiles à l'hydraulique et SRTM est imparfait dans sa version initiale mais laisse présager d'une information utile pour modéliser le lit majeur.

2.3. L'altimétrie et l'imagerie satellitaire

Acquises par un satellite laser altimétrique (GLAS), les données ICESat sont à la base destinées à l'étude des couches polaires. Elles acquièrent également lors de leur passage des transects de mesures d'une précision de l'ordre de 14 cm selon des empreintes au sol de 70 m environ.

Sur notre zone, des images optiques (Landsat, MODIS, etc) ont été acquises et permettent de suivre la propagation des crues. De plus, au travers de l'identification sur ces images de la végétation aquatique, de bas-fonds (mares temporaires), une information locale relative potentielle sur la microtopographie du DIN est à disposition au travers d'indices issus de ces images.

3. Mise en cohérence des données

3.1. Système de référence planimétrique

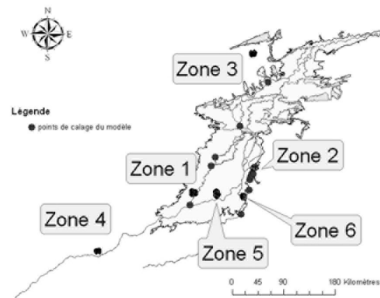
Les données étant de natures différentes et exprimées dans des systèmes de référence variés, il est nécessaire de les mettre en cohérence. Pour cela, des systèmes de référence planimétrique et altimétrique doivent être retenus. Concernant le premier, il a été décidé d'exprimer toutes les données dans le système WGS84. Des transformations entre datums doivent être réalisées suivant les paramètres communiqués par la NIMA (National Imagery and Mapping Agency) pour les données disponibles dans d'autres systèmes.

3.2. Système de référence altimétrique

L'ensemble des données présentes sur les documents cartographiques au 1:50 000 de l'IGN est exprimé dans le système altimétrique NGAO. Les altitudes fournies sont orthométriques, ce qui par définition signifie qu'elles sont obtenues à partir d'un modèle théorique de gravité, tandis que les modèles actuels se basent sur des valeurs mesurées.

En partant de onze points (Figure 3) mesurés lors des missions terrain avec le GPS, et connus dans les deux systèmes : l'ellipsoïde WGS84 et le système NGAO, les écarts entre altitudes exprimées dans ce dernier système et celles par rapport au géoïde EGM08 sont calculés et modélisés sous la forme d'une surface quadratique. Du fait du peu de points sur la zone, l'interpolation et l'extrapolation sont risquées et les résultats du modèle ont été testés sur d'autres données. Les mesures ICESat moins précises mais plus nombreuses ont fait l'objet de ces tests lorsqu'elles traversaient des zones de points cotés digitalisés. Six zones ont été ainsi définies (Figure 3) en les assimilant à un point moyenné pour chacune. Il est apparu qu'aucune structure spatiale n'est présente ; de ce fait toute modélisation est inutile. Compte tenu de la précision pouvant être attendue sur les points cotés et du bruit des mesures, les altitudes exprimées par rapport au géoïde EGM08 seront assimilées à celles dans le système NGAO.

Figure 3 : Répartition des points utilisés pour le modèle et répartition des zones ICESat utilisées



4. Reconstitution d'un MNT

4.1. Une première version : SRTM corrigé en altitude

Les altitudes fournies par le produit SRTM sont exprimées par rapport au géoïde mondial EGM96. Après transformation, ces valeurs sont référencées dans le système altimétrique choisi dans notre étude. Bien que la version initiale du SRTM a présenté des résultats prometteurs lors de l'extraction automatique du réseau hydrographique, il subsiste que les données sont entières et se traduisent par des marches métriques, rendant ainsi le MNT discontinu.

4.2. Une deuxième version : SRTM débruité par lissage

Pour rendre continues ces altitudes entières et pour éliminer à la fois le bruit « aléatoire » et les éléments du sur-sol « isolés », le SRTM initial a été lissé suivant une moyenne mobile. La taille de la fenêtre de lissage (parmi 3x3, 5x5, 9x9, 11x11 et 25x25) a été optimisée selon un critère statistique (corrélation maximale avec des points de contrôle) : la fenêtre de 9x9 pixels a été ainsi retenue.



Figure 4 : SRTM débruité par lissage

Ce produit dérivé du SRTM (Figure 4) est présenté en Figure 5 le long d'un profil en travers. Sur ce profil est mis en correspondance le MNT « lissé » et l'indice normalisé lié à l'humidité de la végétation (NDMI : Normalized Difference Moisture Index) obtenu à partir d'une image Landsat (du 28 novembre 1999) : il est mis en évidence que les informations sont fortement corrélées mais complémentaires. Lorsqu'un bas-fond ou un cours d'eau est présent, l'indice présente des valeurs élevées supposant une présence d'eau ou de végétation humide.

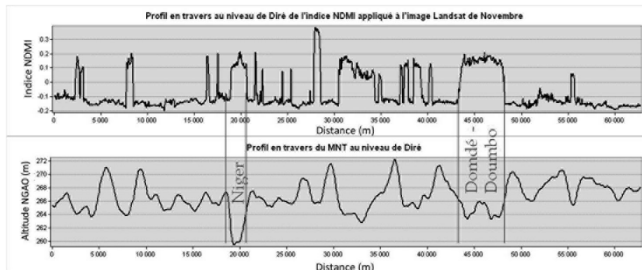


Figure 5 : Profils en travers obtenus à partir du MNT lissé et d'une image Landsat à laquelle un indice a été appliqué

4.3. Une troisième version : SRTM lissé avec insertion de la « microtopographie » par des indices numériques appliqués à des images de télédétection

Les schémas habituels de fusion de données, éventuellement de natures différentes (krigeage à dérive externe, cokrigeage...) qui permettent de déterminer en tout point M de l'espace l'altitude ne sont pas pertinentes sur notre cas d'étude : ces méthodes présupposent une structure spatiale significative du champ étudié qui s'avère inexistante sur le DIN et aux échelles d'études adaptées. Dans ce cas, une idée possible de fusion des informations a été testée dans cette étude et consiste à s'appuyer sur le modèle global SRTM pour représenter les variations d'altitude générales au niveau du DIN et suivant un modèle de régression, à ajouter à ces variations globales un terme correctif de variations locales (microtopographie). Ce dernier est tiré d'images de télédétection diachroniques pendant les phases de crue et décrue (indices de végétation aquatiques, indices de présence d'eau) comme suggéré sur la Figure 5.

Les trois produits obtenus peuvent être présentés sous forme de courbe hauteur/surface (Figure 6) indiquant la superficie qui est susceptible d'être inondée si le niveau d'eau atteint une certaine altitude. Le graphique illustre l'efficacité du lissage qui permet de supprimer les marches du SRTM initial ainsi que l'amélioration du MNT lors de l'intégration de la microtopographie. Pour une cote de 268 m par exemple, une superficie de 300 km² sera inondée d'après la première version du MNT alors qu'elle est égale à 280 km² après l'avoir lissée et à 410 km² suite à l'insertion de la microtopographie.

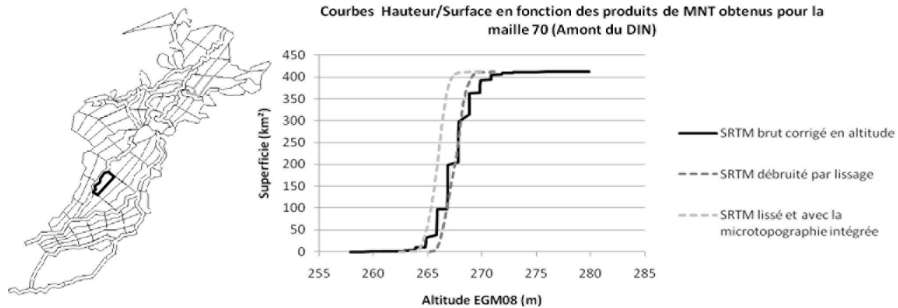


Figure 6 : Maillage et courbes Hauteur/Surface pour les trois versions de MNT obtenues pour la maille 70 (encadrée)

Conclusions et perspectives

Ce projet a permis de mettre en cohérence la planimétrie et l'altimétrie pour un ensemble important de données numériques présentes sur le DIN et propose des outils d'automatisation de conversion pour les hydrologues. De plus, il a permis d'aboutir à différentes versions de MNT qui en l'état seraient intéressantes de tester et de valider pour une modélisation hydraulique. Une combinaison du MNT global aux informations tirées des images de la télédétection a été explorée : les résultats sont prometteurs mais difficilement généralisable à l'ensemble du DIN. Par ailleurs, l'apport des données terrain et des profils du fond pourrait également permettre de raffiner le MNT au niveau du lit mineur. Différentes utilisations de ces MNT comme la création de courbes hauteur/surface ou des profils ont d'ores et déjà été réalisées et les premières reflètent le gain pour la modélisation hydraulique qui peut être obtenu lors de la recherche de raffinement du MNT.