

# Utilisation de l'imagerie satellitaire Google Earth dans l'identification des dépôts de sables alluvionnaires de la rivière Kwilu dans la Province du Kongo Central, R.D. Congo.

Ilito L. D. P.<sup>1\*</sup>, Makanzu I. F.<sup>1, 2</sup>, Matungila J. <sup>1</sup>, Muanza K. P.<sup>1</sup>

## Paper History

Received:  
November 08, 2016

Revised:  
May 25, 2017

Accepted:  
September 03, 2017

Published:  
March 30, 2018

## Keywords:

Remote sensing, Google Earth, spatial resolution, catchment of Kwilu, sand deposits

## ABSTRACT

### Using Google Earth satellite imagery to identify alluvial sand deposits of Kwilu River in the Kongo-Central Province, D.R. Congo

Lithology flush in the area of study is not favorable to the sand deposit because dominated by glacial conglomerate (upper diamictite, Ts), Kwilu geological unit (CI) predominated by carbonate rocks (limestone and dolomite), shales, argillites, and quaternary alluvium (Ho).

Identification of economically profitable sand deposits in area remains of paramount importance in order to deal with infrastructure construction in the region, hence the use of photo-interpretation of Google Earth Software satellite images along the river Kwilu to highlight the distribution of these alluvial deposits and select those close to the cement limestone operating areas in order to assess them on field by drilling.

Hence, the difference in color of objects in the image (or reflectance), smooth or rough surfaces aspects, the lineaments (continuity or discontinuity), forms one-off and surface elements, common sense and experience acquired over time are factors that guided us for the visual interpretation of objects on different Google Earth images. The surveys allowed us to assess the reserves to over a million tons of sand accumulated in two meandering Kwilu's river. The sands on the islands and crevices of river bedrock were not assessed.

<sup>1</sup>Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), Laboratoire de Géomorphologie et Télédétection, 44 Av. De la Démocratie, Kinshasa/Gombe, B.P. : 898 Kinshasa I ;

<sup>2</sup>Université de Kinshasa, Faculté des Sciences, Département des Géosciences, Unité de Recherches et Formation en Gestion des Risques Naturels (URF-GRN), B.P. 190 Kinshasa XI

\* To whom correspondence should be addressed: [daddyilto@gmail.com](mailto:daddyilto@gmail.com)

## INTRODUCTION

Les matériaux de construction sont les matières premières pour le développement des civilisations modernes. Les minéraux industriels dont les calcaires à ciment, les agrégats, les grès, les sables, les argiles, et autres matériaux sont des composantes majeures dans la construction des infrastructures de développement. «Après l'eau, le sable et le gravier sont les matières premières les plus utilisées dans le monde. Le rythme de leur consommation dépasse celui de leur renouvellement naturel» [PNUE, 2014].

L'identification des dépôts de sables économiquement rentables demeure d'une importance capitale pour faire face aux travaux de construction des infrastructures immobilières. D'où, la nécessité de recourir à la télédétection en utilisant l'imagerie Google Earth pour identifier les bancs de sables alluvionnaires pouvant être évalués en vue d'une exploitation durable.

L'utilisation des images Google Earth a fait sa preuve dans l'identification et le suivi de la sédimentation des dépôts modernes des rivières [ZHOU et WANG, 2015 ; DAFALLA et al., 2007] et dans l'identification des dépôts de sables économiquement rentables [ABDULALI et al., 2009].

En effet, comme les images satellitaires coûtent chères [OZER, 2014], nous proposons l'usage de l'imagerie Google Earth

[SHEPPARD et CIZEK, 2009], qui est un logiciel gratuit mais qui fournit des images d'archives de haute voire très haute résolution spatiale pouvant être utilisées dans le suivi de la sédimentation des dépôts modernes. Le présent travail est une initiation à la photo-interprétation des images satellitaires de haute résolution dans les zones tropicales et l'utilisation du logiciel Google Earth.

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

### Zone d'étude

La rivière Kwilu, dans la province du Kongo Central (Figure 1), à l'ouest de la République Démocratique du Congo, a permis la mise en évidence de la distribution des dépôts alluvionnaires. Le secteur d'étude (Figure 1) est à environ 220 km de la ville de Kinshasa [VANCUTSEM et al., 2006]. Cette région a une forte potentialité en calcaire à ciment dont les gisements de sables sont rares.

D'après CAHEN et al. [1958], cette région est dominée par le conglomérat glaciaire (Diamictite supérieure, Ts), les formations du Kwilu (CI) prédominées par des roches carbonatées (calcaire et dolomie), les shales, les argillites, ainsi que les alluvions du Quaternaire (Ho) (Figure 2). C'est le long de la rivière Kwilu, un affluent gauche du fleuve Congo, que s'effectue cette étude.

### Présentation des données

Les utilisateurs peuvent obtenir les images satellitaires à haute

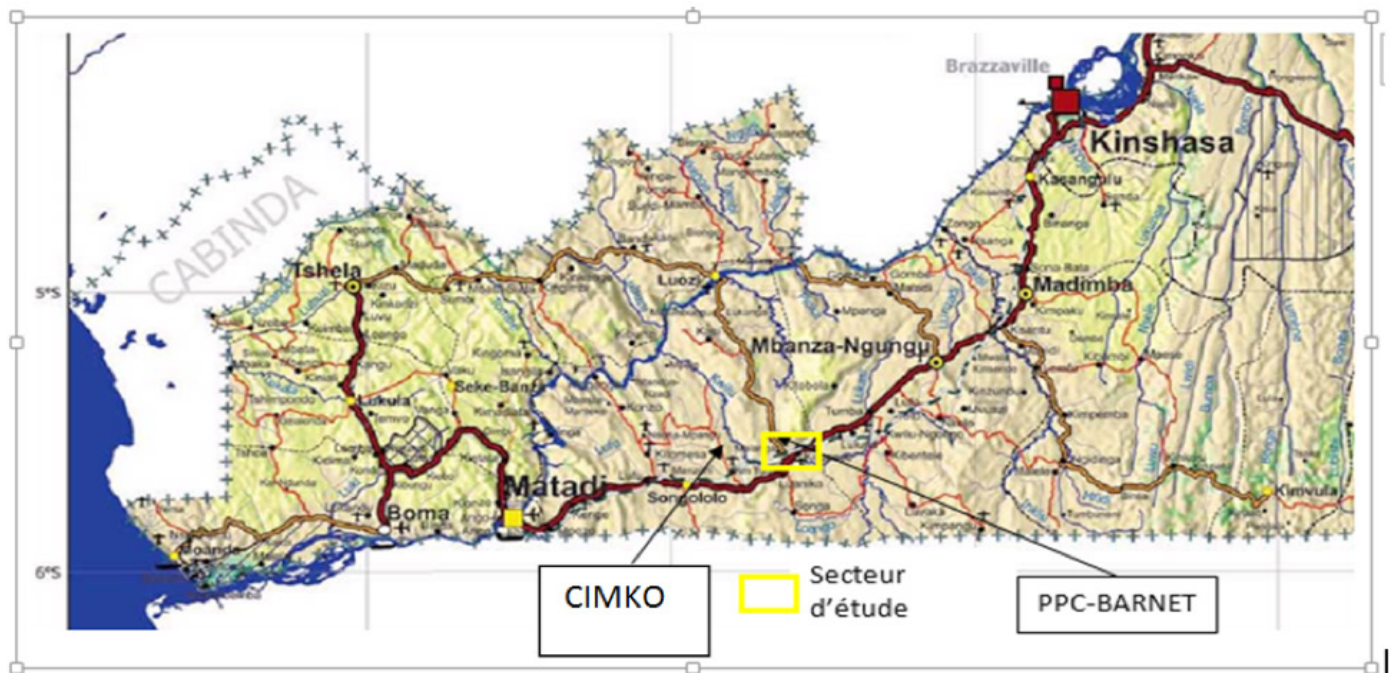


Figure 1 | Location du secteur d'étude (Extrait de la carte de la République Démocratique du Congo [VANCUTSEM et al., 2006])

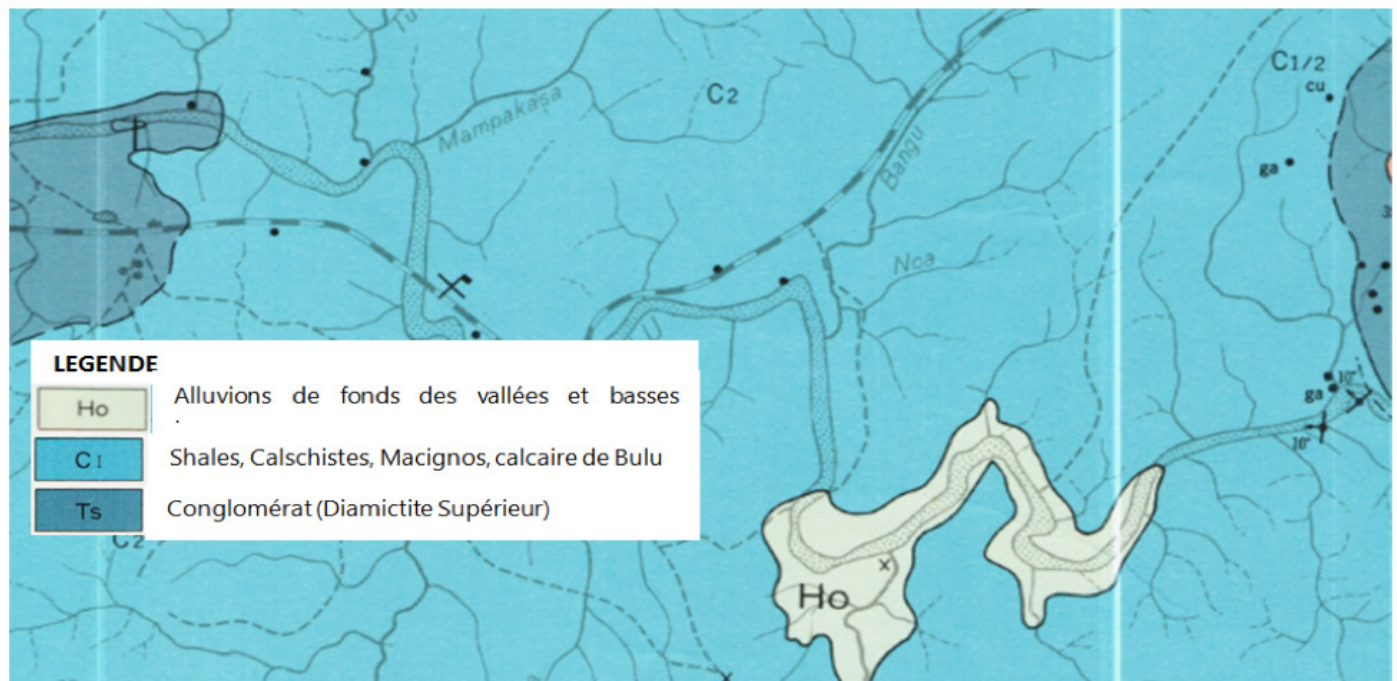


Figure 2 | Carte géologique simplifiée du secteur d'étude (Extrait de la carte géologique Feuille de Ngungu ; 1/50.000) [D'APRÈS CAHEN et al., 1958]

résolution à travers le monde. Une partie des images satellitaires chargées dans le Logiciel Google Earth viennent des compagnies Digital Globe et Earth Sat. Les différentes photographies aériennes viennent des compagnies Blue Sky, Sanborn, IKONOS et SPOT. Les compagnies SPOT, IKONOS et Quick Bird offrent respectivement les images de 5 m (SPOT 5), de 1 m et 0.61 m de résolution spatiale. Ces images satellitaires à haute et très haute résolution ont un avantage dans la recherche pour l'identification des caractéristiques de la sédimentation et le suivi des changements géomorphologiques des rivières [ZHOU et WANG, 2015].

Dans le cadre de ce travail, les images IKONOS, dont les principales caractéristiques sont reprises dans le **Tableau 1**, ont été utilisées. Ces images de très haute résolution spatiale ont permis d'identifier les zones de dépôts de sables alluvionnaires, de comprendre le processus de sédimentation dans la rivière Kwilu, le changement morphologique de la rivière et de mettre en évidence l'hypothèse d'un éventuel changement du microclimat dans le secteur d'étude.

### Méthodologie

#### Procédures d'acquisition des données

Dans ce travail, le logiciel libre « Google Earth » a été téléchargé et installé dans l'ordinateur (lap top). Google Earth, un logiciel lancé par la compagnie Google en 2005, est constitué des images satellitaires, des photographies aériennes, du Système d'Information Géographique (SIG) du globe sous une représentation en modèle 3D [ZHOU et WANG, 2015]. Le logiciel présente une interface graphique simple et conviviale pour chaque utilisateur.

Tableau 1. Type d'images utilisées et leurs périodes d'acquisition

#	Capteur	Résolution spatiale	Date d'acquisition
1	IKONOS	1 m	22 Août 2012
2	IKONOS	1 m	09 Août 2013
3	IKONOS	1 m	14 février 2014

Toutes les images ont été projetées dans le système géographique (Degré Minute Seconde) avec le système métrique comme unité de mesure.

Dans le logiciel Google Earth, nous avons recherché la République Démocratique du Congo tout en déterminant le secteur d'étude. Après, nous avons pu identifier la rivière Kwilu, à partir de sa source en Angola, et aussi plusieurs dépôts. Cette identification a permis de relever les aires potentielles de dépôts de ces sables alluvionnaires.

### Précision et orthorectification des images

Les images Google Earth présentent certaines erreurs liées au positionnement (Géolocalisation). Néanmoins dans le cadre de ce travail, ces erreurs sont négligeables et ne demandent pas le processus d'orthorectification d'images.

Toutefois, l'orthorectification des images est une condition nécessaire, dans le cadre des travaux géotechniques, car ces travaux exigent de fortes précisions. A ce sujet, il faudra recourir aux points de prélèvements au sol à l'aide des DGPS (Digital Global Positioning System) sinon d'un GPS d'une grande précision.

### Photo-interprétations visuelles des images Google Earth

L'interprétation des images satellitaires est une discipline toute entière dont les différents principes et théories sont décrits dans la littérature classique [VAN DER MEER et DE JONG, 2001].

L'interprétation de ces différentes images a été faite sur la base de la différence de coloration des objets (ou réflectance), les aspects lisses ou rugueux des surfaces, les linéaments (continuité ou discontinuité), l'organisation générale des entités, l'étude comparative entre objets et les bases de la géologie structurale (structure souple et cassante) ainsi que les formes des éléments ponctuels et surfaciques. Le bon sens et l'expérience acquise au fil du temps sont des facteurs qui guident pour l'interprétation visuelle des objets sur les différentes images Google Earth utilisées.

### Réflectance et coloration

D'après VAN DER MEER et DE JONG [2001], les yeux de l'homme constituent un simple spectromètre à réflectance. Nous pouvons regarder sur la surface et observer différentes couleurs. Mais nos yeux ne peuvent détecter que les composantes spatiales, les images ou les matériaux qui ne sont compris que dans la région électromagnétique du visible.

En télédétection, les valeurs de radiations (R) enregistrées par le capteur, après la correction des effets de l'atmosphère, sont fonction (f) de la localisation (x), du temps (t), de la longueur d'onde ( $\lambda$ ) et de l'angle d'observation ( $\vartheta$ ) de l'objet à la surface de la terre ; d'où la relation :

$$R=f(x, t, \lambda, \vartheta) \quad (1)$$

Cette relation signifie que lorsqu'un paramètre change, on est à mesure de relever ce changement sur l'environnement. Ce phénomène peut être enregistré par la télédétection.

Ainsi, a été introduite la technique de composition des images satellitaires colorées (Color Composite Image : RGB) pour faciliter l'interprétation visuelle des images. Cette technique consiste à associer les trois différentes longueurs d'ondes spécifiques dont les composantes sont attribuées aux trois couleurs primaires respectivement le rouge, le vert et le bleu. Cette frange d'onde électromagnétique est sensible à l'œil nu et constitue le domaine de l'onde électromagnétique du visible (Domaine du Visible). Le mixage de ces trois couleurs principales donne les différentes couleurs telles qu'elles sont observées dans l'arc en ciel. La lumière solaire incidente sur la feuille de la plante est à la fois absorbée, transmise et réfléchi. La couleur verte observée sur la feuille signifie qu'une frange d'onde électromagnétique a été absorbée à l'occurrence le rouge et le bleu ; et celle qu'on observe, c'est celle qui est réfléchi.

La réflectance est le comportement de toute surface sous une impulsion lumineuse et celle-ci est indépendante de la quantité de radiation réfléchi par la surface. D'autres surfaces réfléchissent une grande quantité des rayonnements incidents ; par contre certaines ne réfléchissent qu'une infime quantité. Le spectre de la réflectance dans la zone du visible est caractérisé par une faible réflectance et transmittance due à une forte absorption par les pigments floraux.

Les rayonnements incidents provenant du soleil favorisent plusieurs processus biologiques aux plantes et leurs permettent de se maintenir et de croître. L'interaction entre l'énergie solaire et les feuilles de la plante se résume en trois catégories : les effets thermiques, photosynthétiques et photo-morphogéniques des radiations. Notons que, plus de 70 % des radiations incidentes absorbées par les plantes sont transformées en température et utilisées pour le maintien de la température des plantes ainsi qu'à leurs transpirations (Effets thermiques) [GATES, 1968 ; VAN DER MEER et DE JONG, 2001].

Le processus de la photosynthèse influe sensiblement sur l'absorption d'autres franges d'énergies dont le bleu et le rouge d'où les longueurs d'ondes du vert réfléchissent et sont perçues par l'œil de l'observateur. Ceci corrobore l'effet que les feuilles des plantes présentent la couleur verte sur les images satellitaires colorées en vraie couleur ; d'où ce qu'on observe sur les images Google Earth (Figure 3).

Les propriétés optiques des feuilles des plantes dépendent d'un certain nombre de facteurs dont les conditions de radiation, les espèces, la densité des feuilles, la structure de la surface des

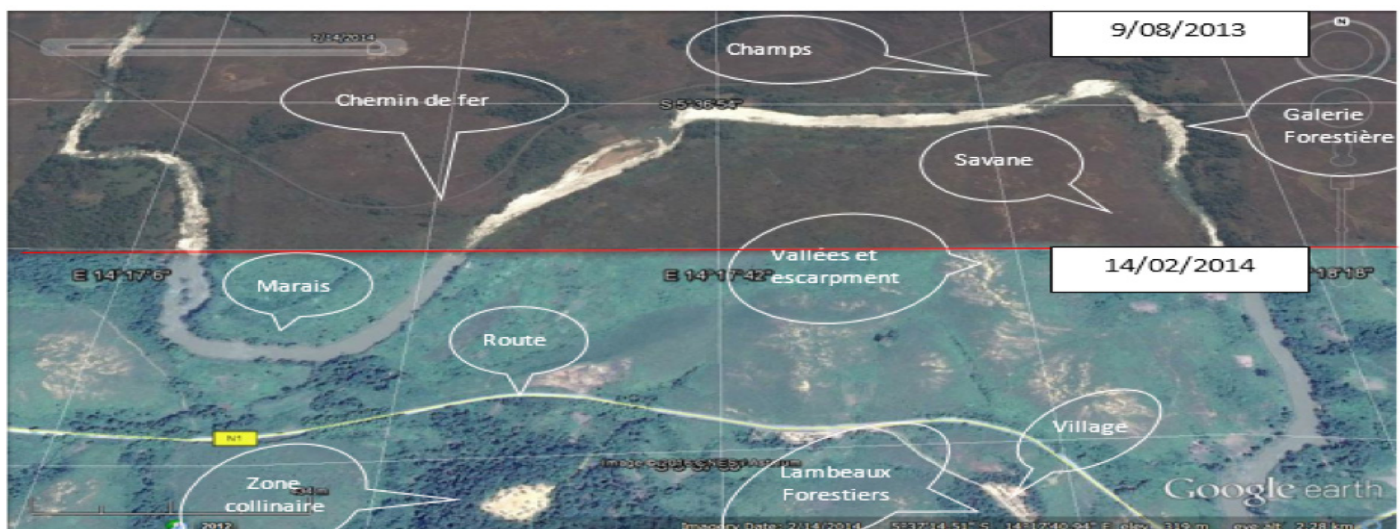


Figure 3| Images Google Earth du 9 Août 2013 et 14 Février 2014 de la zone d'étude



**Figure 4** | Images de validation des observations sur terrain avec images Google Earth de la zone d'étude

feuilles, le contenu de la chlorophylle et de la caroténoïde dans les feuilles, le contenu des matières sèches par unité de surface occupée par les feuilles et la structure interne de la feuille [VAN DER MEER et DE JONG, 2001].

L'eau est aussi une autre composante détectée par ces images Google Earth. L'eau donne de manière générale les différentes réponses en fonction des Radiations Electromagnétique (EMR). L'eau a une grande transmittance pour toutes les longueurs d'ondes de la zone du visible, puis cette transmittance augmente avec la diminution de la longueur d'onde. En profondeur et sous une tranche d'eau claire, toutes les radiations sont presque absorbées. Néanmoins, les matières en suspension, les planctons et les pigments sont à la base de l'augmentation de la réflectance dans la zone du spectre visible [VAN DER MEER et DE JONG, 2001].

#### Forme, continuité ou discontinuité des surfaces

La forme est un paramètre important dans la discrimination des objets. Cet aspect donne la pensée idéaliste de l'objet. Dans cette image, il y a des objets ou éléments linéaires et ponctuels. Les deux derniers peuvent s'étendre à des surfaces à grande échelle d'observation. Ils sont à cet effet des objets polygonaux.

La continuité et/ou la discontinuité des éléments permettent de dire s'il y a un changement ou non dans l'organisation des éléments. Ces paramètres dictent la catégorisation des objets ou des classes d'objets sur la plage d'une image donnée.

#### Linéaments et aspects lisses ou rugueux des surfaces

Les linéaments sont importants dans l'interprétation visuelle des images Google Earth. Ils peuvent déterminer la limite entre deux plages sur l'image et permettent de mettre en évidence la limite entre deux entités. Ils représentent aussi les chenaux des cours d'eau, des vallées sèches ou humides, les sentiers, routes asphaltées ou non, les chemins de fer et éventuellement les lignes électriques. Les aspects lisses ou rugueux des surfaces ainsi que la

réflectance sont déterminants pour la discrimination d'une vallée sèche d'une vallée humide ; car cette dernière apparaît légèrement sombre à cause de l'absorption provoquée par l'eau dans les sols.

#### Organisation générale des éléments et le bon sens

Les différents paramètres susmentionnés reviennent dans la pensée lorsqu'on veut comprendre l'organisation générale de l'image. Cet exercice trouve sa base dans la représentation mentale de l'environnement et les pré-requis dans les domaines des géosciences notamment la géologie structurale, la géomorphologie, la topographie, etc.

Face à cette pluridisciplinarité, l'interprétation des images satellitaires fait appel au bon sens et elle est aussi une science multidisciplinaire.

Expérience d'homme de terrain et utilisateur des images satellitaires de haute et très haute résolution

Il sera difficile de présenter tout ce qui permet d'interpréter les images Google Earth de la région car cela relève aussi de l'expérience dans l'utilisation des images de haute résolution et de l'expérience d'hommes de terrain.

#### Validation à l'aide des sondages et observation de terrain

Dans les lignes précédentes, nous avons eu à extraire l'information sur la base des images satellitaires du Logiciel Google Earth. La validation de nos observations sur le terrain (**Tableau 2**) s'est faite en prélevant les coordonnées géographiques des sites à l'aide du capteur Garmin GPSmap 60CSx avec une précision moyenne de 3 mètres. Une campagne de terrain a été effectuée du 1er septembre au 31 octobre 2016 pour vérifier ces sites (**Figure 4**) et 25 sondages ont été exécutés à la tarière manuelle pour prouver l'existence de ces dépôts sableux identifiés par télédétection, et ensuite pour déterminer leurs extensions latérale et verticale.

Tableau 2. Classification des objets identifiés et paramètres d'identification

Classe	Objet	Forme	Aspect	Élément de discrimination	Commentaire
1	Rivière Kwilu	Surface	Lisse	Forme et coloration	-
2	Route	Surface	Lisse		-
3	Végétation	Surface	Lisse et rugueux	Coloration verte	-
4	Village	Surface	Lisse et rugueux	Coloration brunâtre	-
5	Activités anthropiques diverses ou escarpement	Surface	Lisse	Coloration brunâtre	-
6	Plaine alluviale	Surface	Lisse	Coloration verte	Dans une plaine, proche d'un cours d'eau
7	Ilot	Surface	Lisse	Coloration brunâtre ou blanchâtre	Dans le lit de la rivière
8	Pont	Surface, ligne	Lisse	Coloration, presque celle de la route	Traverse la rivière
9	Rivière Kwilu	Surface	Lisse	Coloration blanchâtre	Plusieurs particules solides en suspension (Saison pluvieuse)
10	Rivière Kwilu	Surface	Lisse	Coloration grisâtre	Plusieurs particules solides en suspension (Saison sèche)



Figure 5 | Les images Google Earth des différentes périodes

## RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### Observations obtenues de la photo-interprétation des images

Nos observations sur les images Google Earth du 22/8/2012, 9/08/2013 et 14/2/2014 (**Figure 5**) se sont articulées sur les paramètres susmentionnés.

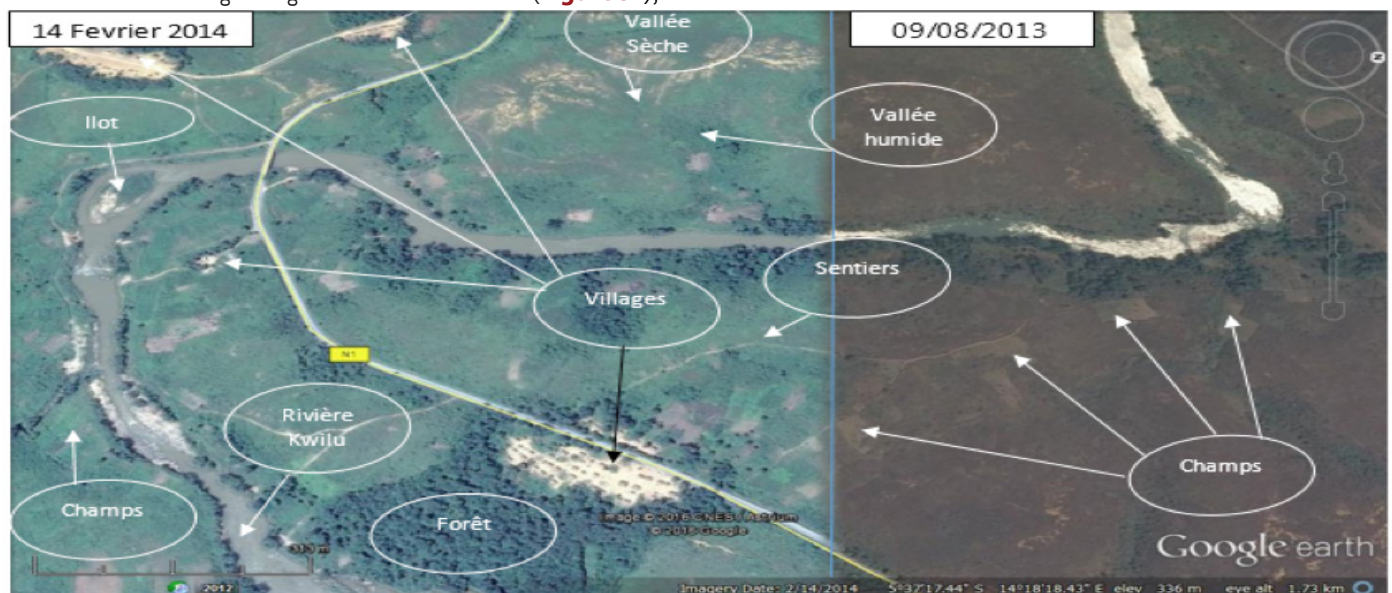
Lorsqu'on observe l'image contenue à la **Figure 3**, elle est une image colorée (RGB) de vraie couleur. Cette image est plus dominée par la coloration verte, ce qui traduit la présence de la végétation. Cette couleur est soit foncée, légèrement foncée ou claire. La couleur verte foncée suit un alignement linéaire qui se relie avec la rivière Kwilu. Cette dernière est aussi bordée de ces aires vertes qui sont les galeries forestières. Les aires vertes légèrement foncées sont occupées par les courtes herbes qui sont les savanes arbustives et herbeuses. Au niveau de la plaine alluviale, il y a une couleur verte uniforme, ce qui montre une autre classe de la végétation qui est celle des zones marécageuses. La classe de végétation marquée par la couleur vert clair parsemée dans la zone des savanes, avec des formes bien aménagées montre les résultats de l'activité humaine qui peuvent être des champs. La couleur blanche dans le lit et dans les rives convexes au niveau des méandres de la rivière Kwilu constitue les bancs de sables. Ces derniers présentent une forte réflectance (Voir image du 09/08/2013, **Figure 5b**).

Pour le cas de l'image Google Earth du 14/02/2014 (**Figure 5c**), la

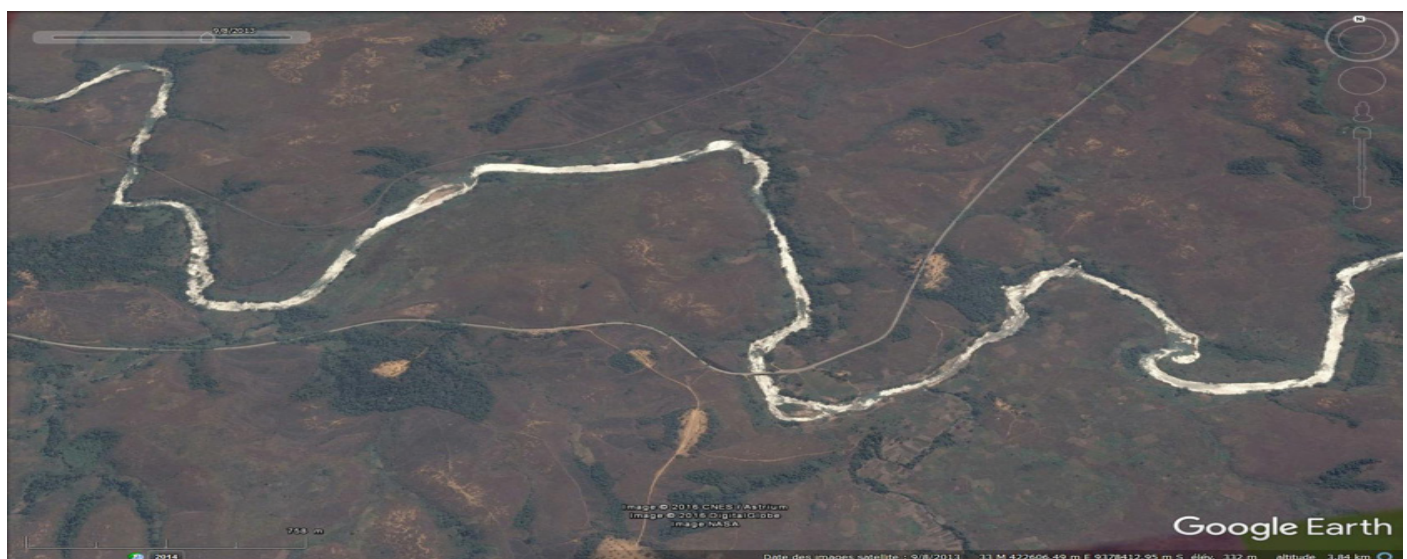
rivière Kwilu paraît en gris sombre, c'est-à-dire faible réflectance. Ce qui montre une forte tranche d'eau qui absorbe les rayonnements incidents. Ceci montre qu'il y avait beaucoup d'eau dans le lit de la rivière Kwilu au moment de la prise d'image, il se peut qu'on soit en pleine saison de pluies ou au début de la saison sèche. Par contre, l'image du 9/08/2013, montre une rivière de couleur blanchâtre, c'est-à-dire une forte réflectance. Cette même rivière montre des eaux brunâtres qui prouvent à suffisance qu'elles sont chargées de débris dont la majeure partie est constituée de sables [VAN DER MEER et DE JONG, 2001].

La coloration blanchâtre sur l'image Google Earth (**Figure 5b**) s'expliquerait peut-être par le fait qu'il y a eu plusieurs matières en suspension (grains de sables, feuilles d'arbre, etc.) et la diminution de la tranche d'eau [SHARMA et al., 1989]. Il se pourrait que le niveau d'eau ait baissé, ce qui aurait permis l'augmentation de la concentration des matières en suspension, la diminution de la tranche d'eau et la proximité du substratum du lit de la rivière qui est pavée des roches carbonatées et de sables. D'ailleurs, cette image a été prise pendant la saison sèche soit au début août.

Les aires de couleur brun clair (**Figure 6**) avec une auréole verte représentent les aires anthropiques. Celles-ci peuvent être des villages entourés de la végétation. Ces aires sont toujours proches des sentiers ou des routes ou encore des rivières. Ceux-ci constituent les différentes voies d'accès à ces villages. Par contre, les aires brun clair présentant les sillons représentent les surfaces



**Figure 6** | Végétation et villages sur Images Google Earth du 9 Août 2013 et 14 Février 2014 de la zone d'étude



**Figure 7** | Eléments linéaires sur Images Google Earth du 9 Août 2013 et 14 Février 2014 de la zone d'étude

dénudées qui peuvent être dues aux activités anthropiques ou des escarpements. Ces aires constituent les vallées sèches lorsqu'elles suivent une orientation donnée qui représente les drains.

Pour le cas de la même **Figure 6**, nous avons mis en évidence les aires de la végétation constituées des lambeaux forestiers, des galeries forestières, les savanes, les champs, les marais dans les plaines alluviales, les villages, les aires d'activités anthropiques (dont les champs, les villages, etc.). Ces différentes aires sont reconnues sur la plage de l'image sur la base de leurs formes et des notions de continuité et/ou discontinuité.

L'aspect rugueux observé sur les aires de la végétation (couleur vert foncée, **Figure 6**) montre une forme de stratification ou d'étagement. Cet aspect se traduit par l'effet de la topographie du terrain. Les aires présentant de tels aspects et de couleur verte sont des zones collinaires à végétation dense.

La route asphaltée paraît bien claire sur l'image (**Figure 7**) car sa surface est plus ou moins comme un miroir, plusieurs rayons de la lumière incidente ont été réfléchis d'où son aspect lisse sur l'image. Cet aspect serait contraire s'il s'agissait des images radar car les surfaces lisses paraissent sombre dans ce dernier cas. Outre sa surface lisse due au compactage au moment de la construction, la nature des matériaux de construction (Calcaire et bitume) a été déterminante pour sa coloration et sa réflectance.

Sur le terrain, nous avons observé une épaisseur moyenne de

4 m de banc de sables sur plusieurs centaines de mètres carrés. Ce qui confirme que plusieurs tonnes de sables sont accumulées dans la rive gauche de la berge de la rivière Kwilu au niveau de sa confluence avec la rivière Maladi (**Figure 8**). D'autres bancs de sables avec des réserves non évaluées existent encore dans le secteur d'étude.

Signalons que les îlots exploités (**Figure 9**) par la population locale pendant la saison sèche et des crevasses à l'aide des motopompes ont été retrouvés sur le terrain. Cet équipement quoique modeste permet de pêcher les sables de cette rivière, même pendant la période des crues.

### Sites favorables aux dépôts du Quaternaire et actualisation de la carte géologique

Nous avons observé à l'aide des images Google Earth que la rivière a un long parcours d'environ 285 km. Ce qui lui permet de charrier les détritiques des roches sableuses situées dans les aires de sa source, sable ocre de Batéké, la désagrégation des roches gréseuses pour la majeure partie. Cette rivière coule sur une plateforme carbonatée, massive d'où le nom de la formation de Kwilu attribué à ces calcaires, éponyme à ce cours d'eau.

Le long de son parcours, trois types de dépôts (**Figure 9**) ont été identifiés ; à savoir :

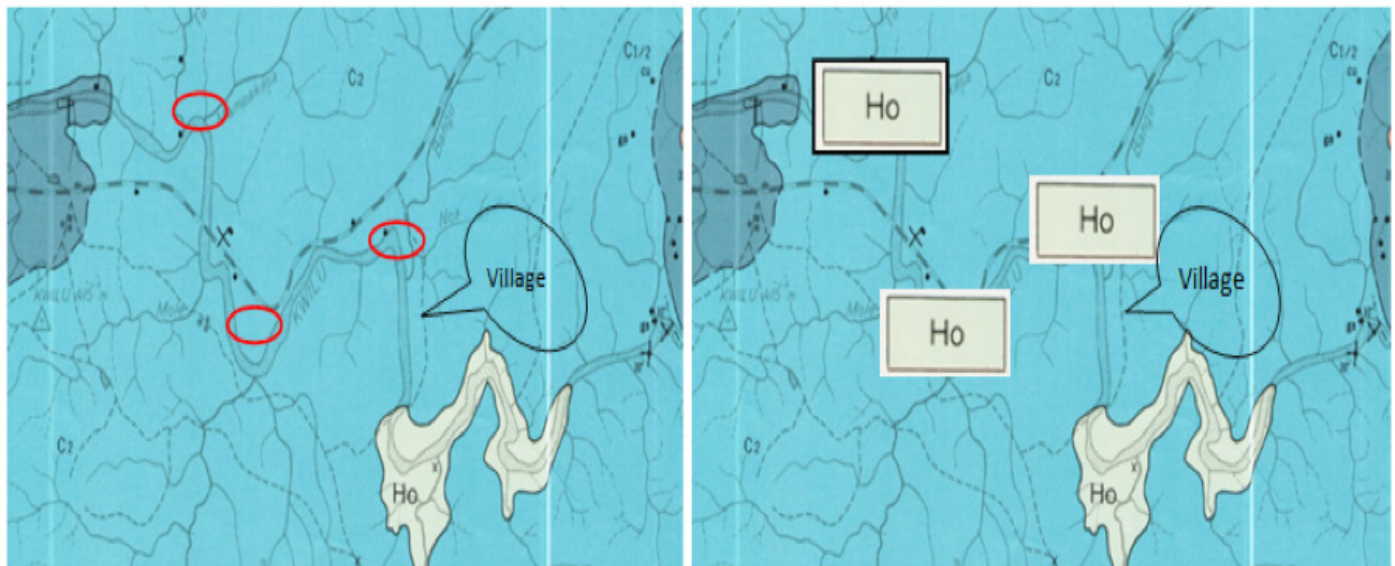
- au niveau des méandres [DAFALLA et al., 2007], cette rivière dépose les sables transportés (au niveau des berges, type I) ;



**Figure 8** | Les différents sites potentiels d'exploitation des sables au niveau de la rivière



**Figure 9** | Les aires d'exploitation de sables de la rivière Kwilu par la population locale (En bleu, îlot exploité par la population locale; en jaune, l'exploitation motorisée; en rouge pour l'exploitation mécanique).



**Figure 10** | Carte géologique actualisée grâce à la photo-interprétation des images haute résolution sur Google Earth et travaux de validation sur terrain [MODIFIÉ D'APRÈS CAHEN et al., 1958].

- au niveau des crevasses dans le lit (Type II) ;
- au niveau des îlots, ces sites se développent en amont des points bars (Bars lithologiques, Paléo-placers ou anciens dépôts, Type III).

Parmi les trois types de dépôts, ceux identifiés au niveau des berges sont les plus importants car ils sont les fruits d'une longue période d'accumulation. Toutefois, l'exploitation au niveau du lit de la rivière peut s'effectuer pendant la saison sèche. D'où les dépôts au niveau des îlots et des crevasses sont aussi d'importantes réserves potentielles. Les sites d'exploitation de sables sont prédominés par les savanes herbeuses.

L'étude comparative entre les différentes images a servi à la découverte des dépôts quaternaires (Dépôts récents, Ho, **Figure 10**).

#### Identification de changements géomorphologiques de la rivière Kwilu

Ces images Google Earth (**Figure 5**) ont permis de comprendre le processus de sédimentation dans la rivière Kwilu, d'identifier les zones de dépôts de sables alluvionnaires, le changement morphologique de la rivière et de mettre en évidence l'hypothèse d'un éventuel changement du microclimat du secteur d'étude.

Les niveaux d'eau de la rivière Kwilu aurait permis d'identifier les perturbations des précipitations enregistrées en 2013. Pour le même mois d'août, la rivière Kwilu montre deux aspects différents au niveau de sa réflectance dont l'aspect sombre (beaucoup d'eau) pour l'année 2012 (**Figure 5a**) et aspect clair 2013 (moins d'eau) (**Figure 5b**). Ce qui s'expliquerait par la rareté des pluies enregistrée au cours de l'année qui aurait aussi affecté le rendement agricole des paysans pendant cette période.

#### CONCLUSIONS

Cette étude a permis de mettre en évidence, outre les dépôts sableux (Dépôts modernes du Quaternaire), ce qui a permis l'actualisation de la carte géologique locale, mais aussi l'identification des routes asphaltées, les routes en terre, le chemin de fer, les villages, les escarpements, les champs agricoles, les galeries forestières, les savanes, les cours d'eau, etc.

La photo-interprétation des images Google Earth a permis de suivre la sédimentation dans la rivière Kwilu, la mise en place des zones favorables à ces dépôts sableux et aux changements morphologiques. Cette technique nous a permis de planifier les travaux de terrain (travaux de sondages) ainsi que la détermination d'extensions de ces alluvions.

Grâce aux différentes images Google Earth (années 2012, 2013 et

2014), nous avons mis en évidence le changement morphologique de la rivière Kwilu et émis l'hypothèse d'un éventuel changement du microclimat du secteur d'étude entre août 2012 à août 2013.

Avec les images Google Earth, nous avons ainsi mené la recherche sur les dépôts actuels (Quaternaire) en vue d'évaluer les potentialités économiques, c'est le cas des dépôts sableux de la rivière Kwilu en République Démocratique du Congo. Les sondages à la tarière manuelle ont permis d'évaluer les réserves à plus d'un million de tonnes de sables accumulés dans deux méandres de la rivière Kwilu. Les sables sur les îlots et les crevasses des fonds de la rivière n'ont pas été évalués.

#### RÉSUMÉ

La lithologie affleurante dans le secteur d'étude n'est pas favorable au gisement de sable car elle est dominée par le conglomérat glaciaire (Diamictite supérieure, Ts), les formations du Kwilu (Cl) prédominées par des roches carbonatées (calcaire et dolomie), les shales, les argillites, ainsi que les alluvions du Quaternaire (Ho).

L'identification des dépôts de sables économiquement rentables dans la région est d'une importance capitale pour faire face aux travaux de construction des infrastructures immobilières. Le recours à la photo-interprétation des images satellitaires du Logiciel Google Earth a été nécessaire pour mettre en évidence la distribution des dépôts alluvionnaires le long de la rivière Kwilu. Puis, il a fallu sélectionner ceux proches des aires d'exploitation du calcaire à ciment en vue de les évaluer par les sondages sur le terrain.

Pour ce faire, la différence de coloration des objets sur l'image (ou réflectance), les aspects lisses ou rugueux des surfaces, les linéaments (continuité ou discontinuité), les formes des éléments ponctuels et surfaciques, le bon sens et l'expérience acquise au fil du temps sont des facteurs qui nous ont guidé à l'interprétation visuelle des objets sur les différentes images Google Earth utilisées. Les sondages ont permis d'évaluer les réserves à plus d'un million de tonnes de sables accumulés dans deux méandres de la rivière Kwilu. Les sables sur les îlots et les crevasses des fonds de la rivière n'ont pas pu être évalués.

#### Mots clés

Téledétection, Google Earth, résolution spatiale, rivière Kwilu, dépôts de sable

#### REFERENCES ET NOTES

CAHEN L. et LEPERSONNE J. [1958]. Carte géologique du Congo Belge et Ruanda-Urundi, Feuille de Thysville S6/14:SW2, Ministère des colonies - Commission de géologie, Royaume de Belgique.

- DAFALLA M.S., IBRAHIM S.I., ELHAG A.M.H, DOKA M.A. [2007].** *Assessment of Sand Encroachment Using Remote Sensing and GIS: Case Study Dongola Area, Sudan, LARS 2007.*
- ELJACK E.M., CSAPLOVICS E., ADAM H.E. [2010].** *Mapping and Assessment of Sand Encroachment on the Nile River Northern Sudan, by Means of Remote Sensing and GIS. Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development. ETH Zurich, September 14-16, 2010. Book of abstracts.*
- GATES D.M. [1968].** *Transpiration and leaf temperature. Annual Review of Plant Physiology 19, 211-238*
- OZER P. [2014].** *Catastrophes naturelles et aménagement du territoire: de l'intérêt des images Google Earth dans les pays en développement. Geo-Eco-Trop. 38 (1) n.s., 209-220.*
- PNUE [2014].** Programme des Nations Unies pour l'environnement «Sand, Rarer Than One Thinks».
- SADIQ A., HOWARI F. [2009].** *Remote Sensing and Spectral Characteristics of Desert Sand from Qatar Peninsula, Arabian/Persian Gulf. Remote Sensing 1 (4), 915-933. doi:10.3390/rs1040915. http://www.mdpi.com/2072-4292/1/4/915pdf*
- SHARMA K.D., SURENDRA S., NEPAL S., KALLA A.K. [1989].** *Role of satellite remote sensing for monitoring of surface water resources in an arid environment. Hydrological Sciences Journal 34(5), 531-537, DOI: 10.1080/02626668909491360*
- SHEPPARD SRJ., CIZEK P. [2009].** *The ethics of Google Earth: Crossing thresholds from spatial data to landscape visualisation. Journal of Environmental Management 90 (6), 2102-2117*
- VAN DER MEER F.D., DE JONG S.M. [2001].** *Imaging Spectrometry. Kluwer Academic Publishers. Printed in Netherlands, 403p.*
- VANCUTSEM C., PEKEL J.-F., EVRARD C., MALAISSE F., DEFOURNY P. [2006].** *Carte de l'occupation du sol de la République Démocratique du Congo au 1 : 3 000 000. UCL-Geomatics, PUL, Belgique.*
- ZHOU X.W., WANG H.L. [2015].** *Application of Google Earth in Modern River Sedimentology Research. Journal of Geosciences and Environment Protection 3, 1-8. http://dx.doi.org/10.4236/gep.2015.38001.*



This work is in open access, licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in the credit line; if the material is not included under the Creative Commons license, users will need to obtain permission from the license holder to reproduce the material. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>