



UNIVERSITÉ D'ABOMEY-CALAVI
Laboratoire d'Etudes des
Dynamiques Urbaines et Régionales
(LEDUR)



DYNAMIQUES SPATIALES ET DEVELOPPEMENT (DYSPADEV)



Revue semestrielle du Laboratoire d'Etudes
des Dynamiques Urbaines et Régionales



Dépôt Légal N° 6803 du 12/08/2013, Port-Novo
ISSN 1840-7455

N° 26 décembre 2025

INDEXATIONS INTERNATIONALES

Disponible en ligne URL : <http://revueledur.net/>


The journal is indexed in:

SJIFactor.com : SJIF 2025: **5.313**

2024: 3.382

Area: [Multidisciplinary](#)

Evaluated version: online

Main title	Dynamiques Urbaines et Régionales
ISSN	1840-7455 (E)
Country	 Benin
Frequency	Biannual
License	Free for non-commercial use
Texts availability	Free

République du Bénin
UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI
Dynamiques Spatiales et Développement "Dyspadev"
Revue semestrielle du Laboratoire d'Etudes
des Dynamiques Urbaines et Régionales
(LEDUR)

ISSN : 1840-7455

Dépôt Légal : N°6803 du 12/08/2013

N° 26, décembre 2025

Sommaire

Editorial	5
DOHO Bi Tcham André : Construction de l'autoroute Tiébissou-Bouaké et dynamique urbaine de Tiébissou (Centre de la Côte d'Ivoire)	6
KOUHOUNDJI Abdelkader Naboua : Valorisation des terres agricoles pour la mise en place d'un SIG d'exploitation durable à Sô-Ava (Bénin).....	23
ALLANGBA Yao Charles-Aubin, BOHOUSSOU N'guessan Séraphin : Ressources propres et autonomie financière de la Commune de Soubré (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire)	52
ASSAH Gowé Yannick Fleure, SORO Débégoun Marcelline, TOGBE Codjo Timothée : Administration locale et lutte contre l'orpaillage illégal à Sran-Bélakro dans le centre de la Côte d'Ivoire : entre règles formelles et pratiques officieuses.....	68
ALE AGBACHI Georges et ALE Charlotte Chacou : Les territoires municipaux au Bénin face à la loi n°2025-16 portant vision nationale de développement à l'horizon 2060 : entre décentralisation et démocratie, quel avenir pour les collectivités locales.....	105
BOKO Nouwêwa Patrice Maximilien ; MEHINTO DOVONOU Flore ; DABA Moussilima ; VISSIN Expédit W. ; HOUSSOU Christophe Sègbè ; BŁAŚEJCZYK Krzysztof : Ambiances bioclimatiques et perception du confort thermique chez les personnes drépanocytaires à Cotonou.....	127
IMOROU Zoukifilou, TOFFOHOSSOU Sédodé Calice, ALLAGBE Sotondji Benjamin et SEGLA Babatoundé Amédée Précieux : Dynamique de flux routiers sur l'axe Akassato-Godomey dans la Commune d'Abomey-Calavi au Sud-Bénin)	157
HOUNYE IFA TOSSI Epiphanie : Equilibre entre vie professionnelle et familiale et santé mentale des enseignants : défis et limites des stratégies d'adaptation dans la commune d'Abomey-Calavi.....	182
AZIAN Déhalé Donatien : Impacts socio-économiques et environnementaux et stratégies de gestion de la jacinthe d'eau (<i>eichhornia crassipes</i>) dans la commune des Aguégus au Bénin.....	216

HOUNZINME Sénadé Sylvie : Tendances et anomalies climatiques dans la commune d'Adjohoun au sud Bénin.....	239
AISSI Jean-Roitinos, SODJI Jean, AKOGBETO Nadine : Valorisation des sites touristiques de la commune de Lokossa : enjeux et stratégies pour un développement durable.....	253
ASSOUNI Janvier : Yarakinnin et Yéboubéri, une enclave d'insalubrité au centre-ville de Parakou.....	277
PADONOU VODOUNGNON Anignikin et BALOUBI Makodjami David : Analyse des facteurs clés affectant la mobilité urbaine à Cotonou et proposition d'une stratégie d'amélioration innovante.....	302
DAGBELOU Vinablo, Kodjo Dominique, ADEKAMBI Souleimane Adeyemi, YABI Jacob Afouda : Analyse du consentement à payer des consommateurs face à la production et à la gestion des déchets plastiques (solides) dans la ville de Parakou.....	337
MEVO GUEZO KEDOWIDE Conchita, DJAUGA Mama², TENTE Brice, VIGNINOU Toussaint : Analyse comparée de détermination de volume de tas de sable dragué au moyen de la télédétection et de la topométrie sur le site de Djondji dans la commune d'Ouidah.....	355
ASSABA Hogouyom Martin : Variabilité climatique dans le bassin versant du fleuve Mono à l'exutoire d'Athiémé au Bénin (Afrique de l'ouest).....	380

Toute correspondance (suggestions ou projets d'articles) à la Revue semestrielle Dyspadev doit être adressée au Comité de Rédaction :

Laboratoire d'Etudes des Dynamiques Urbaines et Régionales,

BP : 787 Abomey-Calavi, E-mail : labodure@yahoo.fr

République du Bénin

Toute reproduction, même partielle de cette revue est rigoureusement interdite. Une copie ou reproduction par quelque procédé que ce soit, photographie, microfilm, bande magnétique, disque ou autre, constitue une contrefaçon passible des peines prévues par la loi 84-003 du 15 mars 1984 relative à la protection du droit d'auteur en République du Bénin

Directeur de publication

Professeur Benoît N'BESSA

Rédacteur en Chef

Professeur Toussaint VIGNINOU

Rédacteur en Chef Adjoint

Professeur Antoine-Yves TOHOZIN

Comité de Rédaction :

Prs, Expédit VISSIN, Ibouaïma YABI, Toussaint VIGNINOU, Aboubakar KISSIRA, Ismaïla TOKO, Rogatien TOSSOU Benjamin ALLAGBE, Dr (MC) David BALOUBI,

Comité Scientifique

Prs Bonaventure MENGHO (Université de Brazzaville), Michel BOKO, Benoît N'BESSA, Brice SINSIN, Flavien GBETO, Jérôme ALLOKO-N'GUESSAN (Université de Cocodi), Yollande OFOUEME-BERTON (Université de Brazzaville), Sylvain ANIGNIKIN, Euloge AGBOSSOU, Christophe S. HOUSSOU, Gabriel N'YASSOGBO (Université de Lomé), Gauthier BIAOU, Odile DOSSOU-GUEDEGBE, Léon Bani BIO BIGOU, Antoine-Yves TOHOZIN

Editorial

Cher lecteur

Cette revue « Dynamiques Spatiales et Développement » se veut une revue scientifique pluridisciplinaire. Elle est à la disposition des chercheurs de diverses catégories et branches pour la publication de leurs travaux scientifiques en géographie, histoire, sociologie, agronomie, économie, etc. C'est dans ce souci que la revue est intitulée « Dynamiques Spatiales et Développement "Dyspadev" ». Les articles à publier doivent répondre aux normes scientifiques par la clarté de la thématique, la problématique, la méthodologie, la rigueur de l'analyse et de la pertinence des résultats.

Cette revue est supervisée par un comité scientifique composé de professeurs des Universités, de maîtres de conférences (nationaux et internationaux). Sa périodicité est semestrielle avec la possibilité de deux numéros (2) dans l'année (un numéro en juin et un autre en décembre) suivant l'importance et la qualité des articles disponibles. Le comité de rédaction souhaite votre collaboration et votre soutien.

Le Directeur de publication

Benoît N'BESSA,
Professeur émérite

Laboratoire d'Etudes des Dynamiques Urbaines et
Régionales (LEDUR)

Département de Géographie et Aménagement du
Territoire (DGAT)
Faculté des Lettres, Arts et sciences Humaines (FLASH)
Université d'Abomey-Calavi (UAC-Bénin)

**ANALYSE COMPAREE DE DETERMINATION
DE VOLUME DE TAS DE SABLE DRAGUE AU
MOYEN DE LA TELEDETECTION ET DE LA
TOPOMETRIE SUR LE SITE DE DJONDJI
DANS LA COMMUNE D'OUIDAH**

&

**COMPARATIVE ANALYSIS OF DREDGED
SAND PILE VOLUME DETERMINATION
USING REMOTE SENSING AND TOPOMETRY
AT THE DJONDJI SITE IN THE COMMUNE OF
OUIDAH**

**MEVO GUEZO KEDOWIDE Conchita¹, DJAOUGA
Mama², TENTE Brice³, VIGNINNOU Toussaint⁴**

¹ Dr Ir Géomètre-Expert, Enseignante-Chercheur ESIGT, Tél.
0194789129, conchitaked@yahoo.fr

² Laboratoire de Cartographie, de Télédétection et des SIG,
LaCarto/EDP/FASHS/ UAC

³ Laboratoire des Dynamiques Urbaines, LEDUR/EDP/FASHS/
UAC

⁴ Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise
Environnementale LABBE/EDP/FASHS/ UAC

Résumé

La détermination volumétrique des matériaux par récepteur GNSS et par imagerie Lidar sont tous les deux des méthodes de relevé altimétrique utilisées dans plusieurs domaines tels que la

topographie, l'ingénierie côtière, la cartographie. La présente étude vise à faire une analyse comparative du calcul du volume de sable déposé par dragage sur le site de Djondji à l'aide de ces deux outils.

La démarche méthodologique a pris en compte le levé direct par récepteur GNSS qui génère des semis de point à intervalle régulier grâce à la technique du maillage préalablement établi avant les travaux. Ainsi, les points relevés sur le terrain génèrent un modèle numérique de terrain dont est déduit le volume recherché une fois que le terrain naturel est calculé. Ensuite, la méthode qui est celle de l'imagerie Lidar qui permet de survoler la zone de travail et de faire des prises de vue aérienne en 3D grâce à des techniques de photogrammétrie. Les photos obtenues sont ensuite traitées au bureau par le logiciel DJI Terra pour reconstituer toutes les photos en une seule photo 3D qui sera exploitée pour calculer le volume. L'application des deux approches pour calculer le volume de sable déposé par dragage sur le site de Djondji a permis de déceler qu'un niveau de précision est atteint avec les relevés topographiques lorsque le maillage est serré et que la densité de points relevés est élevée, ce qui entraîne un surcout certain alors que l'image LiDar qui reste presque instantané et génère une densité de points conséquents à traiter pour le calcul de volumétrie du matériau déposé.

Mots-clés : Volumétrie, altimétrie, GPS, dragage, drone, LiDar, Ouidah.

Abstract

Volumetric determination of materials using GNSS receivers and LiDAR imaging are both altimetric surveying methods used in various fields such as topography, coastal engineering, and mapping. This study aims to provide a comparative analysis of

the calculation of the volume of sand deposited by dredging at the Djondji site using these two tools. The methodological approach considered direct surveying using a GNSS receiver, which generates point clouds at regular intervals using a grid established prior to the work. The points surveyed in the field generate a digital terrain model from which the desired volume is deduced once the natural terrain is calculated. The second method used was LiDAR imaging, which allows for aerial surveying of the work area and the acquisition of 3D aerial images using photogrammetry techniques. The resulting images are then processed in the office using DJI Terra software to reconstruct all the images into a single 3D image, which is then used to calculate the volume. Applying both approaches to calculate the volume of sand deposited by dredging at the Djondji site revealed that topographic surveys achieve a high level of accuracy when the grid is dense and the point density is high, resulting in a significant additional cost. In contrast, LiDAR imagery, which is almost instantaneous, generates a substantial point density that requires processing for calculating the volume of the deposited material.

Keywords: Volumetrics, altimetry, GPS, dredging, drone, LiDAR, Ouidah

Introduction

Dans le domaine de l'ingénierie côtière et de la gestion des ressources marines, la quantification précise des volumes de sable dragué revêt une importance capitale. Ces opérations de dragage visent à maintenir la navigabilité des voies maritimes, à restaurer les plages érodées, ou encore à récupérer des matériaux pour des projets de construction. La quantification se repose sur la représentation numérique du relief, soit le Modèle Numérique de

Terrain (MNT) qui est un véritable référentiel altimétrique permettant de dériver de nombreuses données : pentes, profils topographiques, bassins versants, volumes de terrassement et modèles d'écoulement. À ce titre, la qualité du MNT influence mécaniquement la fiabilité des résultats obtenus (Gruber & Peckham, 2008, p.61). La détermination du MNT prend en compte deux dimensions à savoir l'exactitude du positionnement planimétrique et la restitution fidèle des formes du relief basé sur l'altimétrie. Ces deux dimensions présentent des déterminants différents et n'ont pas le même impact selon l'usage prévu (B. Schneider, 2000, p.780 ; W. Turner et al. 2003, p.310). La thématique de la détermination de volumes de sable impose une très haute précision planimétrique et altimétrique, et par ricochet des approches de relevés offrant ces précisions. S'il est vrai que le positionnement de précision par la technologie GPS a connu une expansion constante qui s'est accélérée dans les années 2000 (R. Legros, 2013, p10), il est à constater que la télédétection par l'imagerie drone et encore mieux par l'imagerie drone à caméra Lidar a révolutionné le positionnement de précision surtout altimétrique (S. Luo et al., 2024, P 98 ; A. Vavoulis, 2023, p. 575 ; N. Poirier et al., 2020, p.9 ; BRGM, 2022, p.15 ; S-A. Soudani, 2022, p.45 ; N. Poirier et al., 2020, p.5) offrant une large gamme d'application (E. G. Sessou, 2025, p.20 ; A. Vavoulis et al., 2023, p.575) dont la détermination des MNT et les calculs de volumétrie. L'émergence de la technologie drone RTK a révolutionné les pratiques de levés topographiques en combinant la flexibilité des plateformes aériennes avec la précision du positionnement cinématique temps réel (Grob & Kadded, 2014, p.17) et parallèlement, les drones équipés de capteurs LiDAR ouvrent de nouvelles perspectives pour l'acquisition de données altimétriques très précises, particulièrement dans les environnements complexes (I. Le Tellier-Heitz, 2020, p.4).

La présente étude se propose de faire les relevés topographiques d'une part, et réaliser une couverture en imageries avec capteurs LiDAR (Light Detection and Ranging) d'autre part pour évaluer le volume de sable dragué sur le site lagunaire de Ouidah. La finalité étant de procéder à une analyse comparée des deux méthodes appliquées dans le but d'un choix de l'approche optimale en termes de précision et de coûts pour un calcul de cubature en matière de construction

2. Méthodologie

2.1 Zone d'étude

Le site abritant le tas de sable dragué objet de l'étude est situé dans la commune de Ouidah, département de l'Atlantique. La figure 1 présente la carte Situation géographique de la zone abritant le dépôt de sable du site de Djondji et localisation des trois (3) tas du dépôt.

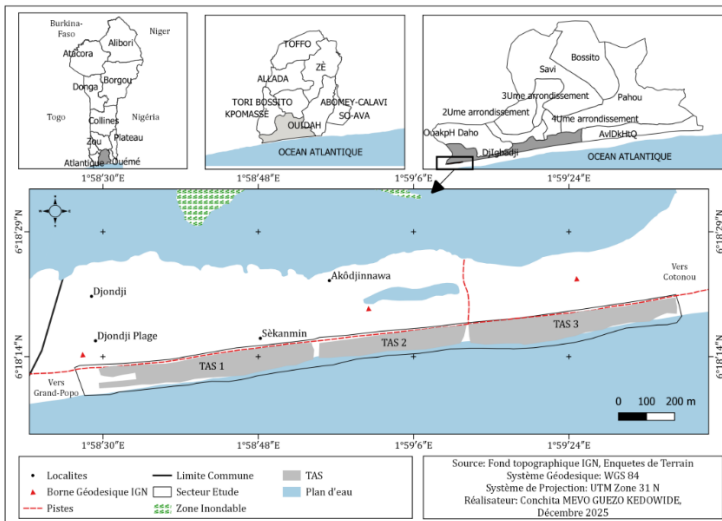


Figure 1 : zone d'étude

L'emprise du périmètre à couvrir prend en compte une zone tampon de plus d'une vingtaine de mètres autour du tas de sable. Les estimations globales donnent comme dimensions pour la superficie à couvrir en relevés topographiques GPS comme en imagerie lidar :

- Superficie : environs 20 ha
- Périmètre : environs 5 km
- Longueur et largeur du site : environs 2, 3 km sur 105 m

La forme du sable déposé sur le site identifie (3) tas bien séparables (i) TAS 1 : volume de sable plus à l'Ouest du côté allant de Ouidah vers Grand Popo, (ii) TAS 2 : volume de sable en milieu au centre des deux autres, (iii) TAS 3 : volume de sable plus à l'Est du côté allant de Ouidah vers Cotonou.

2.2 Matériel et méthodes

Deux appareils ont été lors des différents travaux :

- un couple de GPS / GNSS STONEX S850A différentiel qui a servi la méthode directe de relevés altimétriques ;
- un drone DJI M300 RTK pour la méthode de relevés par imagerie Lidar.



**Photo 1 : GPS / GNSS
STONEX S850A**



Photo 2: Drone DJI M300

2.3 Méthodes de traitement des données

Les traitements des données ont été effectués avec les logiciels Autocad 2018 associé à Covadis 2016 pour la méthode du récepteur GNSS et les logiciels DJI Terra et Logiciel Pix4D Survey pour la méthode de l'imagerie Lidar. Deux méthodes d'évaluations ont été mises en œuvre pour l'évaluation des tas de sable mis en dépôt sur la plage de Djondji, en vue d'une comparaison des résultats :

- ✓ relevés directs altimétriques (nivellement) sur le terrain à la suite d'un maillage, par GPS bi fréquence ;
- ✓ imagerie par drones avec caméra Lidar pour une détermination direct 3D des points photographiés par l'imagerie lidar.

Des deux relevés, le principe de base du calcul de la volumétrie reste le même :

- ✓ réalisation du Modèle Numérique de Terrain (MNT) après le dépôt du sable à partir des points levés sur la superficie 3D du dépôt ;
- ✓ réalisation du Modèle Numérique de Terrain (MNT) du terrain naturel (TN) avant le dépôt défini par les pieds du talus et son espace environnant ;
- ✓ évaluation du volume du dépôt par différence des MNT.

Toute la précision dépend donc d'une part du mode de détermination sur le terrain des points planimétriques et altimétriques (X, Y, Z) devant être pris en compte pour la détermination des MNT (altimétrie), mais profondément et notamment d'autre de leurs densités sur la superficie à couvrir. Plus le nombre de points 3D relevés est élevé, et meilleurs et précis sont les résultats de volume calculés. C'est en cela que les

deux approches utilisées se complèteront et assureront le contrôle qualité de l'évaluation des cubatures à effectuer dans le cadre de la présente étude.

2.3.1 Cubature des tas de sable par relevés topographiques tridimensionnels au GPS /GNSS

La méthode 1 a consisté à faire un relevé classique tridimensionnel par GPS/GNSS bi-fréquences en mode RTK.

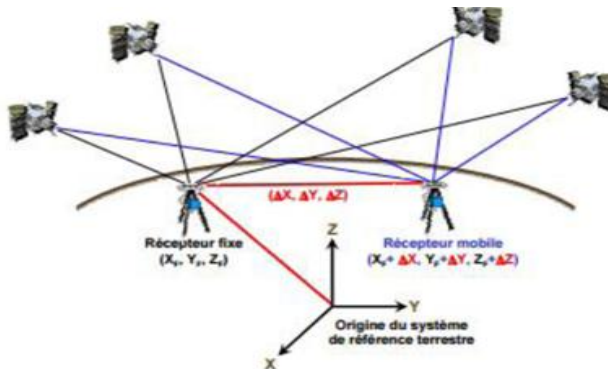


Figure 2 : Principe illustratif du levé topographique et altimétrique au GPS bi fréquence suivant la méthode RTK

Le relevé altimétrique s'est fait sur un maillage du terrain par des pas de trois (03) mètres mis en place, et en prenant comme base une borne géodésique de référence de l'IGN, connue avec précisions en coordonnées tridimensionnelle X, Y, Z. Le positionnement cinématique temps-réel suivant la méthode RTK est une méthode de travail qui permet de déterminer en temps réel et plusieurs fois par seconde les coordonnées précises du récepteur mobile utilisé. Les coordonnées X, Y, Z de chaque point relevé obtenu avec le GPS Stonex seront exprimées directement dans la référence nationale, grâce à la base qui est une borne géodésique IGN. Le principe de calcul des coordonnées des points relevés avec le récepteur GPS mobile repose sur le fait

qu'il calcule la ligne de base le séparant de la station de référence du réseau (borne IGN) en recevant des "corrections" lui permettant de limiter au maximum l'influence des erreurs spatialement corrélées. Les mesures GPS sont en général perturbées en présence d'obstacles ou de masque autour de l'objet à relever. Le site de Djondji le long de la plage est dépourvu de ce genre de masque pour les observations GPS, ce qui réconforte la précision à obtenir de cette méthode de relevé et de calcul adoptée. Par cette première méthode alors, les coordonnées tridimensionnelles de chaque point du maillage seront relevées et calculées tout autour de la superficie recouvrant le tas de sable pour la détermination des différentes surfaces de MNT et l'estimation des volumes recherchés. Collecte des données par relevés tridimensionnels au GPS. Il a été dans un premier temps question de recherche de bornes de référence dans le système géodésique national pour servir de canevas de base. Trois bornes IGN ont été identifiées et recalculées à cet effet. Leur liste et coordonnées sont données dans le tableau ci-contre.

Tableau I : Coordonnées des bornes IGN 193, RP351, IGN 408

	x	y	z
IGN 193	388055.880	697158.120	1.800
RP351	387946.973	697076.094	2.150
IGN 408	386593.969	696896.62	2.503

Source : IGN et Traitement des données, 2025

A partir de ces trois points de référence, il s'en est suivi des relevés effectués par GPS en mode RTK. Ici, une bande de largeur moyenne de 25 mètres a été traitée autour des tas pour servir de modèle numérique de terrain (MNT) de l'état initial. Puis les relevés GPS en planimétrie et en altimétrie ont été effectués avec un pas moyen de 3 mètres pour servir de calcul du modèle numérique de terrain (MNT) des tas après le dépôt. Au final, le

nombre de points topographiques traités dans cette approche a été de **18 659 points**).

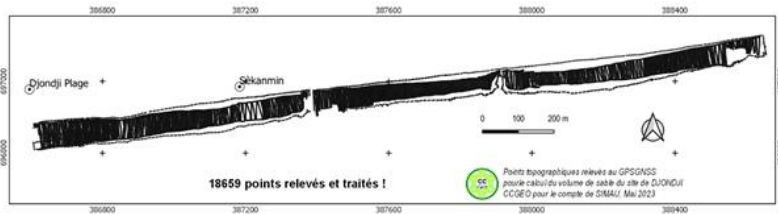


Figure 5 : Cartographie des 18659 points relevés au GPS/GNSS

2.3.1 Cubature des tas de sable par procédé d'imagerie LiDAR

La méthode 2 a consisté » à couvrir la zone d'étude par imagerie Lidar et à reconstituer les points tridimensionnels qu'elle relève de façon directe. Le LiDAR (« *Light Detection And Ranging* » ou « *détection et télémétrie par ondes lumineuses* ») est une méthode de relevé de points par lumière. C'est une technologie laser qui permet de capturer les surfaces d'un objet ou d'un espace en trois dimensions. Le LiDAR émet des centaines de milliers d'impulsions laser infrarouge par seconde sur une surface cible puis mesure le temps que met la lumière à revenir vers lui (écho). À partir de la mesure du temps de parcours du laser, il est capable de calculer la distance, et avec un GPS embarqué fonctionnant en mode RTK, il relève tous les points cibles en coordonnées tridimensionnelles X, Y, Z

- Le Model drone portant la camera Lidar utilisé pour l'étude est : **Dji matrix 300 RTK**
- Et le nombre de points ainsi relevés en X, Y, Z sur le site de Djondji est : **30682 points**

Les paramètres de vol et de l'imagerie effectuée sont donnés par le tableau ci-après :

Tableau II : Caractéristique d'une prise d'image sur le terrain

Hauteur de vol	60 m
Résolution image	3 cm
Emprise de vol	15 ha
Temps de vol	30 mn
Points de traitement	30682

Source : Travaux de terrain, 2025

Après la prise d'image, **deux étapes de traitement** ont suivi en vue de l'obtention des points altimétriques :

(i) traitements sous le *Logiciel DJI Terra* pour avoir le nuage de points en fichier "las"

(ii) traitement sous le *Logiciel Pix4D Survey* pour séparer les points au sol des points du sursol. Les points au sol retenus ont servi pour créer la grille, le TIN, les courbes de niveau

Les points tridimensionnels récupérés en couche « *shapefile* » sont importés dans le logiciel Global Mapper pour obtenir les différents produits et calculer les volumes.

- ♦ Génération du Modèle Numérique de Terrain (MNT des tas de sable)
- ♦ Définition de la limite pied du talus et polygone plan au sol (MNT Terrain naturel)
- ♦ Superposition des deux éléments (MNT des tas et celui et du terrain naturel), puis exploitation de l'algorithme de calcul automatique de volume
- ♦ Edition des valeurs / rapport en fichier CSV

La figure 6 présente la cartographie des 30682 points relevés par imagerie LiDAR.

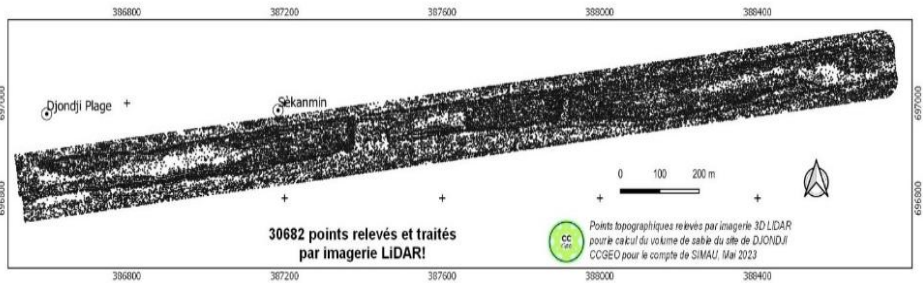


Figure 6 : Cartographie des 30682 points relevés par imagerie LiDAR

3. RESULTATS

Les principaux résultats sont relatifs à l'analyse comparée du calcul des volumes par la méthode de relevés topographiques et du calcul des volumes par la méthode d'imagerie Lidar.

3.1 Calcul des volumes par la méthode de relevés topographiques

3.1.1 MNT DES 3 TAS

Le tableau III présent les résultats des MNT (Après et avant) le dépôt de sable sur l'ensemble du site.

Tableau III a : MNT (Après) le dépôt de sable sur l'ensemble du site

Données	Valeurs		
LG Min	X = 386607.079	Y = 696809.738	Z = 1.249
LG Max	X = 388654.766	Y = 697127.606	Z = 20.022
NTPM	12578		
NTU	25129		
S 2D	183308.15		
S 3D	192393.74		

Source : Données issues des traitements, 2025,

(LG Min = Limites géométriques minimales ; LG Max = Limites géométriques maximales ; NTPM = Nombre total de points dans le modèle ; NTU = Nombre de triangles utiles après réduction ; S 2D = Surface 2D des triangles utiles ; S 3D = Surface 3D des triangles utiles)

Tableau III b: OBJET MNT avant le dépôt de sable sur l'ensemble du site

Données	Valeurs		
LG Min	X = 386593.969	Y = 696801.346	Z = 1.115
LG Max	X = 388672.616	Y = 697149.360	Z = 3.778
NTPM	3612		
NTU	7198		
S 2D	241921.82		
S 3D	242473.52		

Source : Données issues des traitements, 2025, (LG Min = Limites géométriques minimales ; LG Max = Limites géométriques maximales ; NTPM = Nombre total de points dans le modèle ;

NTU = Nombre de triangles utiles après réduction ; S 2D= Surface 2D des triangles utiles ; S 3D = Surface 3D des triangles utiles)

De l'examen du tableau, il faut noter qu'après et avant le dépôt de sable le nombre total de points dans le modèle est différent. Le tableau IV présente les résultats des points (Après et avant) le dépôt de sable sur l'ensemble du site.

Tableau IV_: Points (Après et avant le dépôt) le dépôt de sable sur l'ensemble du site

Données	Valeurs après le dépôt)	Valeurs avant le dépôt)
Disponibles dans le dessin	13077	18659
Sélectionnés	13077	5582
Éliminés car en double (distance minimale = 0.01)	499	1970
Nombre de points réellement utilisables	12578	3612
<i>Nombre de points topographiques</i>	<i>13077 / 13077</i>	<i>5582 / 5582</i>
Altitude minimale des points	1.249	1.115
Altitude maximale des points	20.022	3.778

Source : Données issues des traitements, 2025

L'examen de ce tableau montre une différence entre les valeurs des points avant et après le dépôt de sable sur l'ensemble du site.

Le tableau V présente les résultats des lignes de rupture (Après et avant) le dépôt de sable sur l'ensemble du site.

Tableau V : lignes de rupture

Données	Valeurs (Après)	Valeurs (Avant)
Disponibles dans le dessin	1	2
Sélectionnées	1	1
Ignorées (filtrées ou avec intersections)	1	1
Nombre d'entités réellement utilisables	0	0
<i>Nombre de polygones 3D</i>	<i>0 / 1</i>	<i>0 / 1</i>

Source : Données issues des traitements, 2025

De l'examen du tableau, il faut noter qu'après et avant le dépôt de sable les données ont varié, ce qui reste normal au vu de l'apport du matériau objet du calcul de volumétrie.

Le tableau VI présente les résultats des segments des lignes de rupture (Après et avant) le dépôt de sable sur l'ensemble du site.

Tableau VI : segments des lignes de rupture

Données	Valeurs (Après)	Valeurs (Avant)
Disponibles avant traitement	52	51
Éliminés par le filtrage planimétrique	52	51
Nombre de segments réellement utilisables	0	0

Source : Données issues des traitements, 2025

3.1.3 Cubature / Calcul des volumes des tas de sable

Le calcul des volumes s'est fait séparément sur les trois tas, avec un calcul global intégré sur l'ensemble des tas en guise de contrôle. Le tableau XI présente le détail des calculs générés par

Covadis et ayant conduit à cette valeur trouvée pour le volume du TAS 1, TAS 2 et TAS 3

Tableau VII : Synthèse des calculs générés par Covadis et ayant conduit à cette valeur trouvée pour le volume du TAS 1, TAS 2 et TAS 3.

Caractéristiques	Nom	Nombre de faces	Altitude mini (m)	Altitude maxi (m)	Surface totale 2D (m ²)	Surface totale 3D (m ²)
COVADIS - CUBATURES (Entre TN TAS1 et après dépôt TAS1) <i>Ecriture du listing le 12/05/2023)</i>						
Premier état de terrain	TN TAS1	2697	1.365	3.243	81265.07	81360.56
Second état de terrain	TAS1	10106	1.365	16.320	61985.77	64791.89
COVADIS - CUBATURES (ENTRE TN TAS2 et après dépôt TAS2) <i>Ecriture du listing le 12/05/2023)</i>						
Premier état de terrain	TN_TAS2	2005	1.382	3.778	54235.78	54331.33
Second état de terrain	TAS2	7073	1.249	14.500	37082.14	39195.91
COVADIS - CUBATURES (ENTRE TN TAS3 et après dépôt TAS3) <i>Ecriture du listing le 12/05/2023)</i>						
Premier état de terrain	TN_TAS3	2733	1.115	3.752	85910.94	86151.72
Second état de terrain	TAS3	7924	1.411	20.022	62317.63	66460.97

Source : Données issues des traitements, 2025

Tableau VIII : Synthèse des calculs des cubatures pour passer du premier au second état et du calcul de volume (TAS 1, TAS 2 ; TAS 3)

	Surface s 2D	Surfaces 3D (état 1)	Surfaces 3D (état 2)	Volumes
ENTRE TN TAS1 et après dépôt TAS1 <i>Ecriture du listing le 12/05/2023</i>				
Avec remblais (m ²)	58854.2 4	58873.51	61637.93	
Avec déblais (m ²)	2726.17	2730.14	2747.31	
Sans écart (m ²)	405.36	406.65	406.65	
Remblais				254860.86 7
Déblais				254.329
Total (m²)	61985.7 7	62010.30	64791.89	255115.19 6
ENTRE TN TAS2 et après dépôt TAS2 <i>(Ecriture du listing le 12/05/2023)</i>				
Avec remblais (m ²)	34519.0 7	34538.91	36596.96	
Avec déblais (m ²)	2231.93	2235.46	2265.60	
Sans écart (m ²)	331.14	333.35	333.35	
Remblais				140476.03 5
Déblais				139.108
Total (m²)	37082.1 4	37107.72	39195.91	140615.14 3
(ENTRE TN TAS3 et après dépôt TAS3)				

<i>Ecriture du listing le 12/05/2023)</i>				
Avec remblais (m ²)	57468.4 3	57505.97	61460.81	
Avec déblais (m ²)	4384.94	4390.62	4527.29	
Sans écart (m ²)	464.25	472.88	472.88	
Remblais				359981.40 2
Déblais				659.458
Total (m²)	62317.6 3	62369.46	66460.97	360640.85 9
Volume total des trois Tas (TAS 1+TAS 2+ TAS 3)				755318.30 4 m³

Source : Données issues des traitements, 2025

Au total le calcul du volume des trois TAS a donné
755318.304 m³.

3.2 Calcul des volumes par la méthode d'imagerie Lidar

3.2.1 Cubature / Calcul des volumes des tas de sable

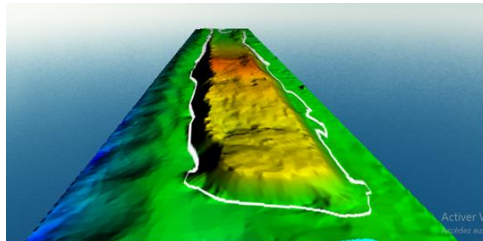
Le modèle numérique des tas après dépôt est donné par la figure ci-après, ce qui identifie bien les trois tas séparés. La figure 7 présente la vue d'ensemble *du modèle numérique de terrain de l'ensemble des trois tas.*



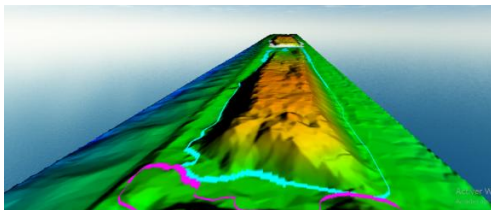
Figure 7 : Vue d'ensemble du modèle numérique de terrain de l'ensemble des trois tas

La figure 8 présente respectivement le Modèle Numérique du Terrain du TAS 1, du Modèle Numérique de Terrain du TAS 2 et du Modèle Numérique du TAS 3.

(A)
Modèle Numérique de Terrain (MNT) du TAS 1



(B)
Modèle Numérique de Terrain (MNT) du TAS 2



(C)
Modèle
Numérique de
Terrain (MNT)
du TAS 3

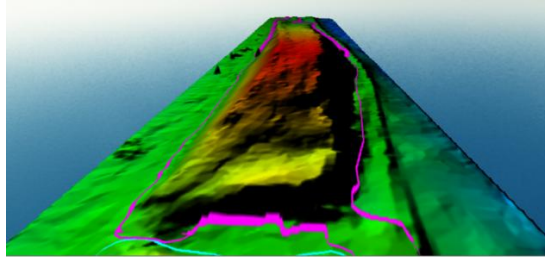


Figure 8 : Modèles Numériques de Terrain (MNT) de TAS1, 2 et 3

Le tableau IX présente le rapport synthèse du de calcul de volume du TAS1, TAS2 et TAS 3.

Tableau IX : Rapport synthèse de calcul de volume du TAS1, TAS2 et TAS 3

	Total Volume (cubic meters)	Total Enclosed Area (sq km)	Total Length/Perimeter
TAS 1	249323.81	0.0607	2.028
TAS 2	137268.11	0.0313	1.179
TAS 3	359561.53	0.0584	1.905
TOTAL	746153,45 m3		

Source : Traitement des données, 2025

L'examen du tableau montre un volume total pour les trois TAS (TAS 1+TAS 2+ TAS 3), un volume de **746153,45 m³**.

Tableau X : Résultat global sur l'ensemble en un seul tenant

Total Volume (cubic meters)	:	748965.23
Total Enclosed Area (sq km)	:	0.1535
Total Length/Perimeter:	:	4.906 km

Source : Traitement des données, 2025

L'examen du tableau X montre aussi un volume de 748965.2345 m³ pour le calcul en un seul tenant.

4 - Discussion

Le calcul du volume de sable à partir des deux sources de données : d'abord les données issues du levé direct par le GNSS qui génère des semis de point à intervalle régulier grâce à la technique du maillage préalablement établi avant les travaux et ensuite, les données issues de l'imagerie lidar qui reste presque instantané et génère une densité de points conséquents à traiter pour le calcul de volumétrie du sable déposé. En effet, la méthode de l'imagerie Lidar permet de survoler la zone de travail et de faire des prises de vue aérienne en 3D grâce à des techniques de photogrammétrie. Les photos obtenues sont ensuite traitées au bureau par le logiciel DJI Terra. En outre les points relevés sur le terrain permettent de générer un modèle numérique de terrain dont est déduit le volume recherché une fois que le terrain naturel permet en d'autre thème de calculer. Aussi faut-il comprendre que la reconstitution des photos en une seule photo 3D est exploitée pour calculer le volume. L'application des deux approches pour calculer le volume de sable déposé par dragage sur le site de Djondji a montré un niveau de précision qui est atteint avec les relevés topographiques lorsque le maillage est serré et que la densité de points relevés est élevée, ce qui entraîne un surcout certain alors que l'imagerie Lidar présente une opportunité. Les résultats de la présente recherche vont dans le même sens que ceux trouvés par (G. Tankeu et I. Jocelyn, 2022) qui pour leur part se sont appesantis sur l'image drone prise avec une caméra optique ordinaire, alors que l'approche de la présente étude a en plus fait le choix de la caméra Lidar qui est un capteur actif qui projette des milliers de faisceaux laser par seconde pour mesurer les distances et générer par ricochet un "nuage de points" 3D très

précis au centimètre près, ce qui améliore sans précédent le calcul de cubatures. J.D. Amoussou et *al.*, (2025, p.63) quant à eux se sont appesantis sur l'approche des relevés topographiques avec une forte connotation en relevés altimétriques comme (S. Kiki, 2019), mais en l'appliquant aux besoins en BTP. Pour ces derniers, la mise en place d'une polygonation en trois dimensions avec un récepteur GNSS présente plusieurs défis en précisions planimétrique comme altimétrique. Ainsi, au-delà des signaux satellites qui peuvent être affectés par l'atmosphère ou par les masques obstacles (bâtiments, arbres) en générant des erreurs de positionnement, la limite fondamentale pour la mesure précise altimétrique est celle de l'inexistence d'un géoïde de référence précis pour le Bénin. L'intérêt du géoïde est crucial pour transformer les mesures brutes de satellite en altitudes exploitables sur le terrain. Même si le relevé en mode RTK à partir d'un point de référence connu en altitude avec précision compense presque les écarts sur les nouvelles altitudes calculées, la question du géoïde limite bien sur notre terrain d'étude les possibilités offertes par les GNSS pour les relevés topographiques de précision.

Aussi, la comparaison des deux approches en termes de coûts et de temps met en lumière tout l'avantage offert par l'imagerie Lidar qui se fait instantanément. Les relevés terrain GPS / GNSS sont étalés sur plusieurs jours, surtout avec les maillages serrés nécessaires aux fins d'obtention d'une meilleure précision altimétrique et de calcul du modèle numérique de terrain. Ceci génère bien des surcoûts par rapport à l'approche imagerie drone Lidar qui connaît de plus en plus un essor technique, et par conséquent propose des offres à des coûts accessibles selon les différentes applications thématiques à en faire.

Conclusion

L'étude sur l'analyse comparée de détermination de volume de tas de sable drague au moyen de la télédétection et de la topométrie sur le site de Djondji dans la commune d'Ouidah a montré un niveau de précision atteint avec les relevés topographiques lorsque le maillage est serré et que la densité de points relevés est élevée avec un surcôt certain alors que l'image LiDar reste presque instantanée et génère une densité de points conséquents à traiter pour le calcul de volumétrie du matériau déposé.

Références bibliographiques

AMOUSSOU Jawu Daniel, MEVO GUEZO KEDOWIDE Conchita, ADELAKOUN Raphael, TOUKOUROU Yézidou,, MENSAH Guy Apollinaire, 2025, « Problématique de la mise en place d'une polygonation d'études de BTP avec un récepteur GNSS ». Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB), Novembre 2025 - Volume 35 - Numéro 05, Spécial ESIGT, ISSN imprimé : 1025-2355 et ISSN électronique : 1840-7099, pp. 60-65.

BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), 2022, Méthodologie d'acquisition de données LiDAR par drone pour les géosciences, Orléans, Rapport technique RP-72082-FR, 84 p.

GROB Marie et KADDED Farouk, 2014, « Acquisition par drone pour les relevés topographiques », Revue XYZ, n° 141, p. 5-11

GRUBER Stephan., & PECKHAM Scott, 2008, Land-Surface parameters and objects in hydrology. In T. Hengl & H. I. Reuter (Eds.), Geomorphometry (No. 33 ; Issue 33, pp. 171–194). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00007-X](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00007-X)

KIKI Samson, 2019, Contribution de la technologie GPS GNSS à la détermination des mesures altimétriques : Cas de la Commune d'Abomey-Calavi, Mémoire de fin d'étude.

LE TELLIER-HEITZ Isabelle, 2020, LiDAR aéroporté par drone : pour un focus micro-topographique à l'échelle d'un site archéologique boisé. Archéologies numériques, ISTE OpenScience, vol. 4, n° 1, 15 p.

LEGROS Romain, MOREL Laurent, VIGUIER Flavien, BIROT Florian, 2013, 'Méthodes de travail dans les réseaux GNSS', GéoPos la Commission Géopositionnement du CNIG. 78 pages)
LUO Shanshan, WANG Cheng et XI Xiaoquan, 2024, *Introduction to LiDAR Remote Sensing*, Boca Raton (Floride), CRC Press, 312 p.

POIRIER Nicolas, HAUTEFEUILLE Florent et CALASTRENC Carine, 2020, « LiDAR aéroporté par drone et archéologie : vers un changement de paradigme ? », ISTE OpenScience - Archéologies numériques, vol. 4, n° 1, pp. 1-22.

SCHNEIDER Bernhard, 2000, Uncertainty of local shapes in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 14, n° 8, pp. 773-787.

SESSOU Enagnon Galki, 2025, "Analyse des relevés topographiques par récepteur GNSS et par drone avec le capteur LiDAR embarqué dans une étude routière : Cas du Tronçon Yagbé-Aholouyèmè", Mémoire de fin d'étude

SOUDANI Sid-Ahmed, 2022, Apport du LiDAR aéroporté par drone pour la caractérisation de la structure forestière, Thèse de doctorat, Paris, Université Paris-Saclay, 195 p.

TANKEU Gwemba, JOCELYN Ines, 2022, "Analyse comparée des méthodes de relevés topographiques entre la technologie

drone et les relevés conventionnels (GNSS) dans le village de Kika", Mémoire de fin d'étude

TURNER Woody., SPECTER Sacha., GARDINER Ned., FLADELAND Matthew., STERLING Eleanor., et STEININGER Marc, 2003, Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 1, n° 6, pp. 306-314.

VAVOULIS Antonios, PANAGIOTOPOULOS Emmanouil et STENTOUMIS Christos, 2023, « Review of Photogrammetric and Lidar Applications of UAV », *Drones*, vol. 13, n° 11, pp. 567-592 (26 p.).