

État des lieux du réseau altimétrique du Sénégal (NGA053)

Diogyo DIOUF - Ibrahima DIANDY

Le réseau de référence altimétrique du Sénégal dénommé Nivellement général de l'Afrique de l'Ouest (NGA053) a été mis en place depuis 1953 pour servir de réseau altimétrique de référence dans les anciennes colonies françaises en Afrique de l'Ouest. Il est composé de différentes mailles de nivellement couvrant l'ensemble du territoire national ayant permis de mettre en place les repères de 1^{er}, 2^e, 3^e et 4^e ordre. Les altitudes des différents repères ont été déterminées à partir du repère fondamental placé à côté du marégraphe du port autonome de Dakar. Il a été noté, à la suite du travail d'inspection et de diagnostic effectué, que, le NGAO souffre d'un manque d'entretien et de mise à jour, mais aussi est caractérisé par des métadonnées non exhaustives sur la mise en place des repères des différents ordres. Sur les repères du 1^{er} ordre, 62 % sont inutilisables (détruits ou disparus), alors que pour les repères de 2^e, 3^e et 4^e ordre, en moyenne, 72 % des repères restent inutilisables. Ce constat montre ainsi, l'urgence d'entretenir ce réseau altimétrique historique, mais également de le moderniser, afin de l'aligner aux standards internationaux en matière de référentiel altimétrique actuel.

MOTS-CLÉS

NGAO 53, Nivellement, Sénégal, réseau altimétrique

Afrique de l'Ouest, un réseau altimétrique historique, dénommé NGA053, reste en vigueur dans la plupart des pays, comme le Sénégal. Ce réseau ancien de l'époque coloniale, malgré les exigences notées et les nombreux facteurs (physiques, humains, environnementaux, etc.) pouvant l'affecter, souffre d'un manque d'entretien et d'une accessibilité parfois relativement limitée dans certaines zones.

Ce travail s'intéresse à l'étude de la situation actuelle du dit réseau, à son diagnostic et aux possibilités de modernisation qui pourront permettre d'en faire un référentiel pouvant répondre aux besoins actuels des différents utilisateurs en termes d'accessibilité, de précision et de fiabilité.

Situation du NGA053

Cette étude a démarré par une phase de collecte de données, métadonnées et autres informations liées au NGA053 par le cabinet Tech BTP à qui la Direction des Travaux Géographiques et Cartographiques (DTGC) avait confié ce travail.

Il est sorti de l'analyse et de l'exploitation des données et informations recueillies que le NGA053 fut réalisé à partir de 1952 jusqu'en 1956 pour les points de 1^{er} ordre et il concerne toutes les anciennes colonies françaises de l'Afrique de l'Ouest. Ce réseau a été réalisé par l'Institut Géographique National (IGN) de France. Il constitue la matérialisation du système altimétrique de l'Afrique de l'Ouest défini officiellement par les éléments suivants :

- type d'altitude : orthométrique ;
- description du repère selon code INSEE : immatriculation : 623 ;
- repère fondamental : KM n° 1 ;
- sa désignation : repère scellé dans le puits du marégraphe ;

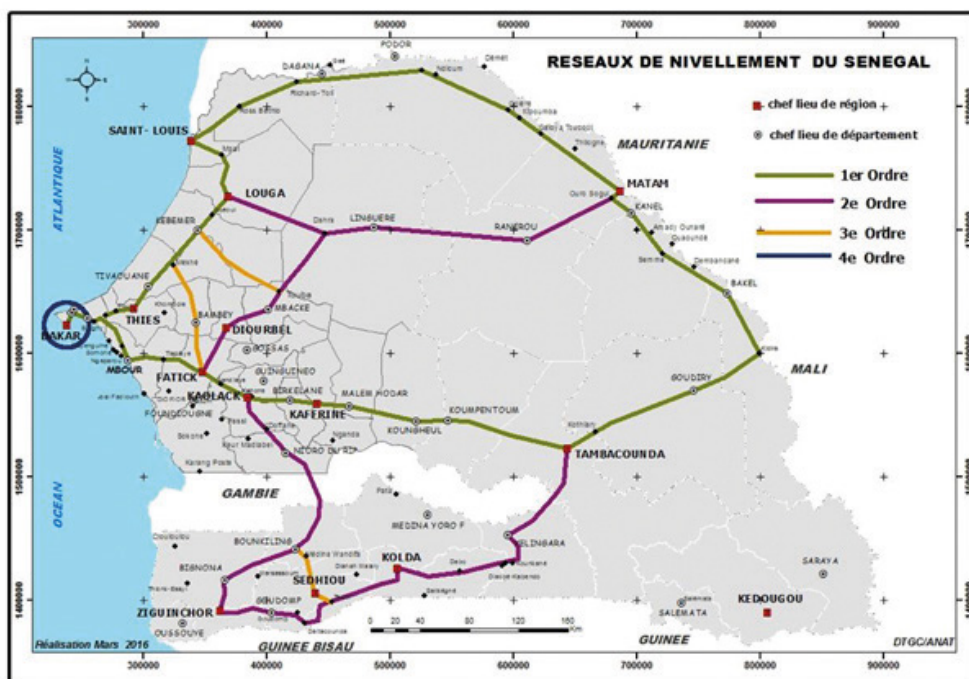


Figure 1. Répartition des mailles de nivellement du NGA053.

Introduction

Les exigences en matière de positionnement de manière générale et de positionnement altimétrique en

particulier, combinées aux avancées technologiques, ont en partie motivé ces dernières décennies la modernisation des référentiels altimétriques. En



- unité de mesure : métrique ;
- l'altitude du point fondamental : 1,320 m ;
- type d'appareil utilisé : non spécifié ;
- méthode utilisée : non spécifiée ;
- année de détermination du point fondamental : 1953 ;
- les références du service utilisateur : IGN France ;
- situation géographique : $\lambda = 17^{\circ}26' \text{ O}$ et $\zeta = 14^{\circ}41' \text{ N}$;
- information complémentaire : altitude du repère ramenée au niveau moyen des mers en 1953, soit une différence de 0,98 m avec le zéro hydrographique.

L'altitude du repère fondamental a été déterminée suite à des observations, avec un marégraphe placé au Port autonome de Dakar (PAD), du niveau moyen des mers de 1950 à 1953.

D'après la Revue des travaux géodésiques et de nivellement du Sénégal, trois missions principales (entre 1952 et 1980) ont permis de mettre en place un réseau de nivellement de différents ordres et des cheminements altimétriques de précision, sans aucune information sur les classes de précisions, les régions de confiance et les méthodes de mise en œuvre. Il s'agit des missions de :

- IGN France, de 1952 à 1953 pour la réalisation des mailles s'étendant de Saint-Louis à Kidira (1^{er} ordre) ;
- IGN/MAS (Mission d'aménagement du fleuve Sénégal) en 1955 dans le cadre de l'établissement de la carte IGN/MAS (mise en place de cheminements principaux) ;
- projet USAID/TELEDYNE : établissement de repères de nivellement de Rosso à Ambibédi rattachés à des points de 1^{er} ordre.

Il a été noté que d'autres missions (en 1963, 1965, 1983, 1984), en plus de celles mentionnées dans la revue, ont été effectuées pour mettre en place et compléter les points de nivellement des différents ordres cités ci-dessus. La plupart de la documentation disponible fournit les données et informations relatives à l'emplacement, à la désignation, aux écarts kilométriques et aux altitudes des différents repères. Ces données et informations sont représentées sous forme de :

- Cartes 1/1 000 000 et 1/200 000 avec une représentation des différents sections et polygones avec leurs nomenclatures. Ces fonds de carte permettent d'avoir un aperçu de la répartition et de la configuration des différentes sections, même si l'échelle des cartes ne permet pas de visualiser certains sites traversés par les mailles de nivellement et l'identification de certains repères de nivellement ;

- Tableaux descriptifs des repères de nivellement avec le niveau d'ordre, désignation des bâtiments et ouvrages d'art abritant les repères de nivellement, désignation des repères, écarts kilométriques, type de repère ;
- Tableaux récapitulatifs des feuilles de nivellement avec une désignation des différentes sections et voies suivies pour chaque feuille, la longueur de chaque section, les dates de réalisa-

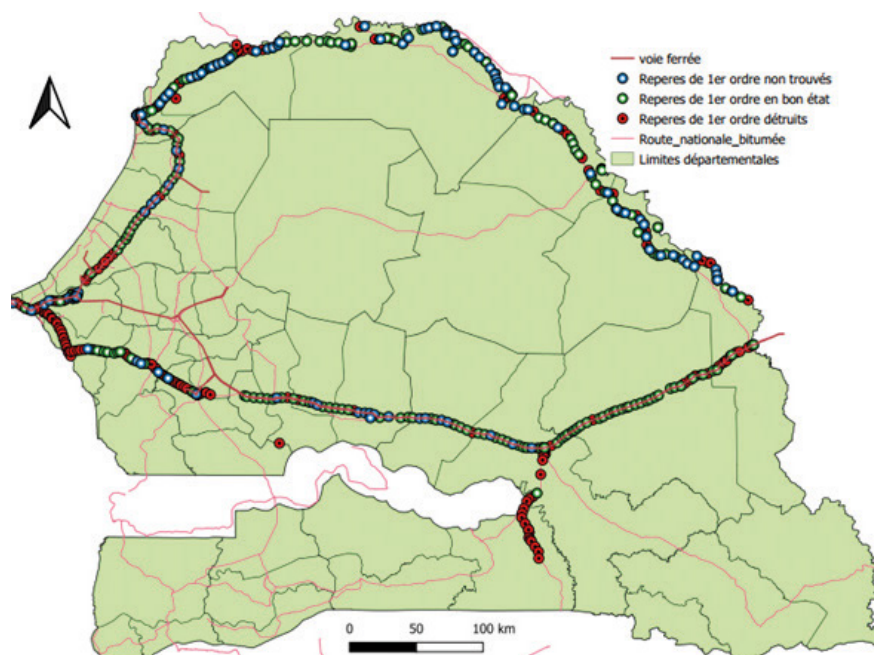


Figure 2. Situation des repères de nivellement de premier ordre du NGA053.

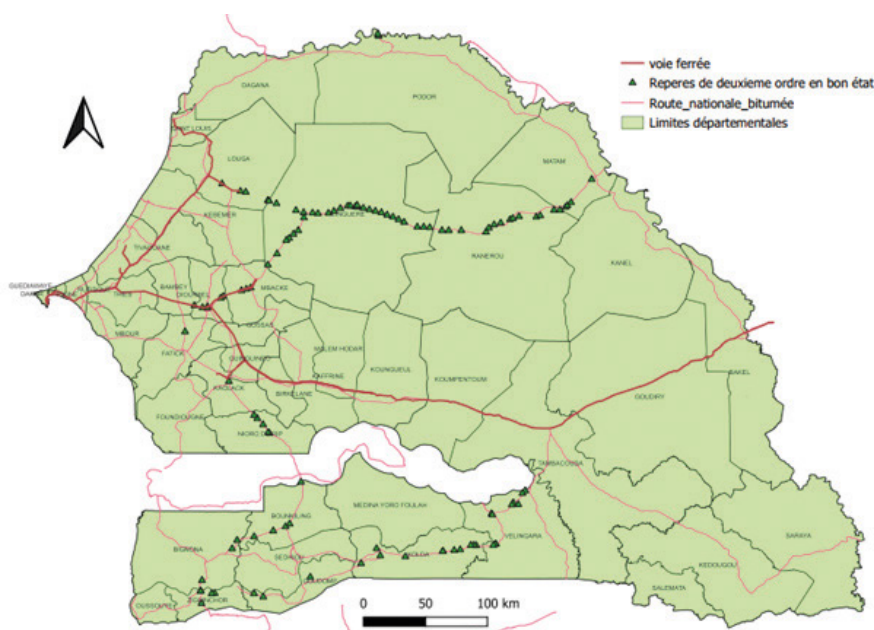


Figure 3. Répartition des repères de nivellement de deuxième ordre en bon état.

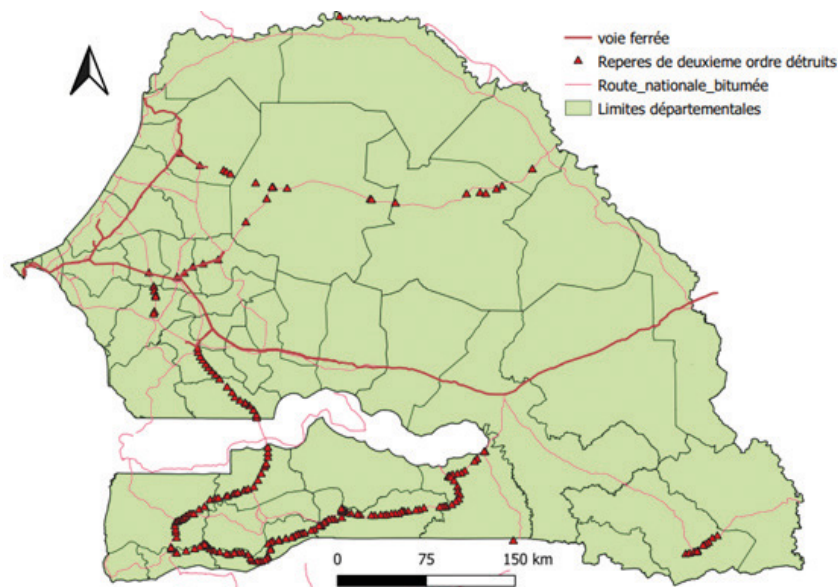


Photo 4. Futuna : côte nord-est (avec le village de Poi).

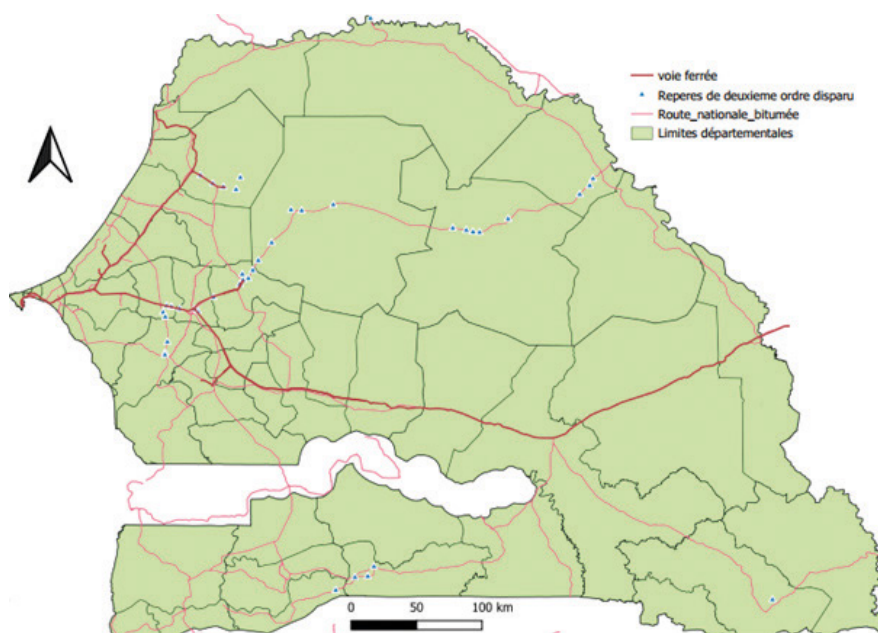


Figure 5. Répartition des repères de nivellement de deuxième ordre détruits.

tion des nivellements et les numéros des pages ;

- Schémas descriptifs des emplacements des bornes et repères avec leur situation par rapport aux bâtiments, ouvrages d'art et/ou itinéraires suivis. Ces schémas censés faciliter le repérage des points sur le terrain n'ont pas tous été représentés de manière explicite. Certains schémas sont représentés par des éléments utilisés pour le repérage du point difficilement identifiables ou une seule distance par rapport au repère même si les

écarts kilométriques pourront être utilisés pour faciliter le repérage du point. Certains repères n'ont pas été fichés sur les croquis de repérage, ce qui ne facilitera également pas le repérage des points particulièrement pour un réseau de plus d'un demi-siècle d'existence, avec donc une forte probabilité de changement de l'environnement des repères.

Les informations et données relatives à l'emplacement des repères de nivellement souffrent d'une absence de géoréférencement. Les réper-

toires d'emplacement des repères ne présentent pas pour la plupart de coordonnées planes pour le repérage. Les quelques répertoires disposant de ces coordonnées présentent des coordonnées locales définies dans des systèmes traditionnels différents des systèmes actuellement en vigueur. Cette situation pouvait néanmoins se comprendre à l'époque où il n'y avait pas encore des outils de géoréférencement facilement accessibles, comme les GPS de navigation actuel, pouvant rapidement permettre de faire du positionnement avec une précision métrique. En France par exemple, il a fallu attendre les années 2000 pour faire le géoréférencement du réseau altimétrique avec des coordonnées ayant une précision métrique.

■ Repères de 1^{er} ordre

Le réseau de premier ordre du NGA053 est constitué des repères créés à partir des mailles de nivellement partant de Dakar à Kidira avec deux sections à partir de Diamniadio. L'une reliant Diamniadio à Tamba jusqu'à Ambidedi et l'autre, de Diamniadio à Saint-Louis, jusqu'à Ambidedi en passant par Richard Toll et Bakel.

Ces différentes sections ont été établies en suivant les grands axes de communication (routes nationales ou fédérales et chemins de fer) entre 1952 et 1955.

Mais si on se réfère à la carte des différentes sections de nivellement, on voit que ces sections ayant permis de mettre en place ces repères de premier ordre forment une grande boucle couvrant le centre du pays jusqu'au nord en passant par les extrémités est et ouest (figure 1).

Les repères de premier ordre de la feuille de nivellement de Dagana ont été utilisés en 1965 pour le calcul des altitudes des repères de quatrième ordre du nivellement d'itinéraire dans le delta du Sénégal au titre de l'opération 30 ha. Malheureusement, aucune information sur la méthode de nivellement utilisée, les techniques de contrôle, l'existence ou non d'ajustements, les fermetures, n'a été indiquée dans la documentation obtenue.





Photo 1. Repère situé sur le pilier sud-est du bâtiment de la gare de Dakar.

Le travail d'inspection effectué sur 544 repères de premier ordre du NGAO53 répartis sur les sections Dakar-Diamniadio, Diamniadio-Kidira en passant par Kaolack et Tamba (suivant la RN1 et les chemins de fer) et les sections Diamniadio-Kidira en passant par Saint-Louis et Matam (suivant l'ancienne route continentale, la RN2) et les chemins de fer a montré que 38 % de ces repères sont en bon état contre 62 % qui sont inutilisables (détruits ou disparus, cf. figure 2).

■ Repères de 2^e ordre

Le réseau de nivellement de deuxième ordre est formé par les repères des sections (F.ab, F.ac et F.cd) qui s'étendent de Louga à Ourosogui en passant par Dahra et Linguère suivant le chemin de fer Louga-Linguère. On note aussi les sections de Dahra à Fatick avec la section F.bc, de Kenieba au Mali, en passant par Kédougou (1954-1955), Rosso-Boutilimit avec 19 repères (1955-1956), Podor à Aleg avec la section V.bd (repères n° 1 à 22-I), Kouroudjel-Thilogne avec les bornes de la MAS (1958-1959), Puits de Kouroudjel à Thilogne avec la section V.de (1958-1959), Vélingara-Kolda avec la section K.bc (1983-1984) jusqu'à Ziguinchor et la section k.ab reliant Ziguinchor à Kaolack.

Le réseau de deuxième ordre a pu progressivement couvrir ainsi une partie du nord, du centre, du sud et du sud-est du pays. Les grands axes de communication (routes nationales et/ou chemins de fer) du pays d'ouest en est,

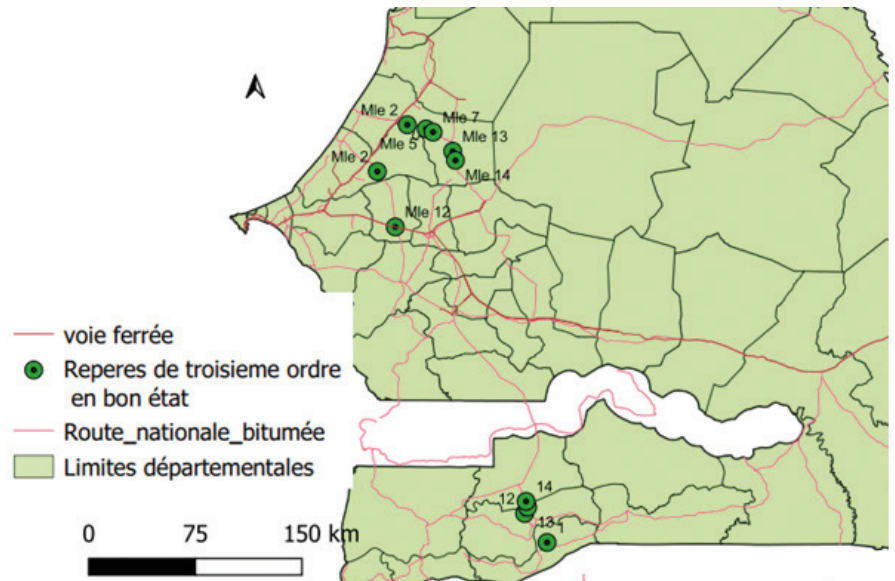


Figure 6. Répartition des repères de troisième ordre en bon état.

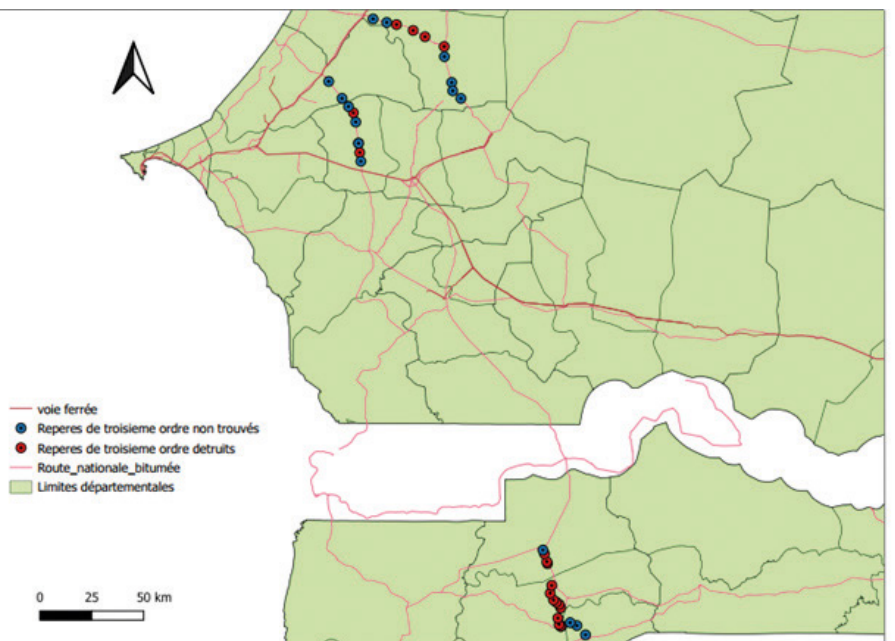


Figure 7. Répartition des repères de troisième ordre inutilisables.

en passant par le nord, le centre et le sud, ont pu ainsi être utilisés pour l'élargissement du réseau de nivellement (NGAO53). Ce qui a permis d'avoir une couverture géométrique plus étendue du NGAO53 avec des repères de nivellement accessibles pour les travaux d'aménagement, particulièrement de BTP, sur l'étendue du territoire national. Sur 489 repères de nivellement de deuxième ordre inspectés, il a été noté que seuls 42 % sont en bon état (figure 3). Sur ces repères de nivellement constituant les repères de deuxième ordre, 58 % sont aujourd'hui donc inutilisables (détruits ou disparus, cf. figures 4 et 5).

■ Repères de 3^e ordre

Le réseau de nivellement de troisième ordre est formé des sections Fb.a3b3 (repères n° 1 à 17) reliant Kebemer à Touba, la section Fb.b3c3 (repères n° 1 à 3), reliant Mekhé à Fatick en passant par Bambey et la section reliant Bounkiling à Sédhiou. Les deux premières sections se sont appuyées sur des repères de premier et deuxième ordre en cheminement encadré alors que la troisième section s'était appuyée sur des repères du réseau de deuxième ordre. Certains écarts de fermeture ont été fournis, particulièrement sur la section MPP de plus de 500 km en cheminement

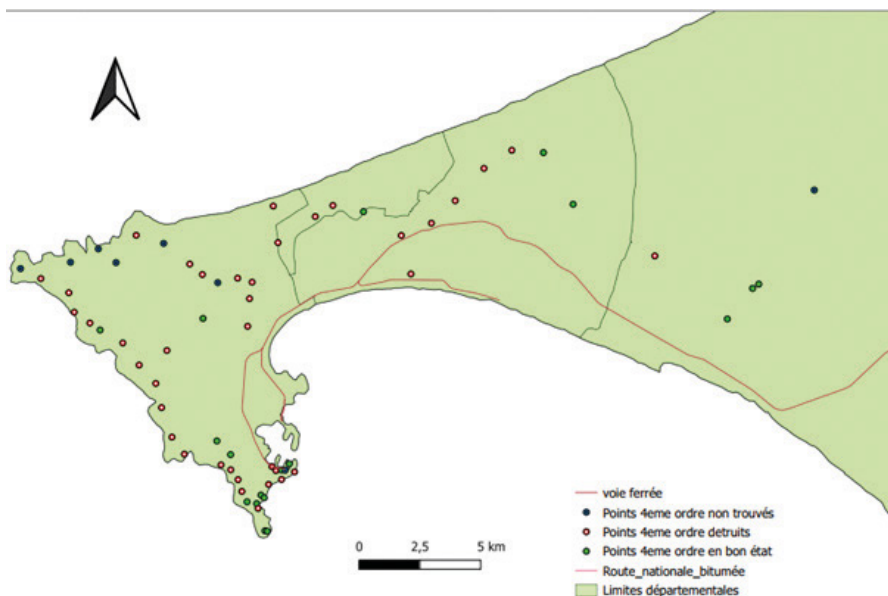


Figure 8. Répartition des repères de nivellement de quatrième ordre dans la région de Dakar.

encadré reliant Kaolack à Koungheul en passant par Ziguinchor et Kolda et les autres sections définies à partir de Velingara. Les valeurs de fermeture indiquées dans les rapports (avec un niveau N2 pour la section MPP) varient de quelques centimètres (pour les cheminements de moins de 70 km) à quelques décimètres pour les cheminements de plus de 100 km. Ces valeurs de fermeture restaient ainsi dans les tolérances fixées.

L'inspection de ces repères de troisième ordre a montré que seuls 23 % restent encore en bon état de conservation (cf. figures 6 et 7).

■ Repères de 4^e ordre

Le réseau de nivellement de quatrième ordre est constitué :

- des repères de nivellement densifiés de la région de Dakar à partir du Polygone M (cheminements en boucle de Grand Dakar) formé des repères de quatrième ordre (n° 1 à 20). Ces cheminements ont été effectués suivant diverses voies dans Dakar, de 1953 à 1954. Ces points sont qualifiés de quatrième ordre alors qu'aucune réalisation de deuxième ou troisième ordre n'a été effectuée. Leur réalisation a permis de densifier localement (dans Dakar) le réseau de nivellement pour le rendre plus accessible aux professionnels. Cette densification particulière à Dakar

pourrait s'expliquer par les enjeux socio-économiques de la capitale avec les nombreuses infrastructures réalisées et les différents projets d'aménagement. Ce qui fait que le besoin en positionnement altimétrique de manière particulière est plus accru ;

- Des points de nivellement (maille W) créés dans le cadre du nivellement d'itinéraire dans le delta du Sénégal au titre de l'opération 30 000 ha, consignés dans la feuille de nivellement de Dagana -NE-28-111 avec quelques cheminements en boucle. La densification du NGAO53, dans cette partie nord du pays, permet de répondre aux besoins des professionnels dans le cadre des nombreux travaux d'aménagement hydroagricoles dans la vallée du fleuve Sénégal sans compter les différentes réalisations de l'OMVS.

Ces repères de quatrième ordre, dont la plupart se trouvent à Dakar, sont souvent localisés sur des bâtiments et édifices publics ou ouvrages hydrauliques.

Il a été noté par l'inspection qui a été faite sur ces repères de 4^e ordre, que 72 % de ces repères de nivellement dans la zone de Dakar sont inutilisables (endommagés ou disparus, cf figure 8). Ces différents repères qualifiés de repères de quatrième ordre, ne semblent pas, malgré les cheminements en boucle effectués, avoir fait

l'objet de compensation. En plus, tout comme les points qualifiés de premier, deuxième et troisième ordre, la méthodologie de mesure, de calcul et la description des instruments utilisés n'ont pratiquement pas été explicitement mentionnées. Néanmoins, une couverture géométrique acceptable des sections des différents ordres sur l'ensemble du territoire national a été notée. Mais le fait de réaliser ces cheminements en boucle a certainement au moins permis de valider les observations et calculs faits en calculant les différentes fermetures.

■ Points du RRUS11

Dans le cadre de l'élaboration d'une base de données cartographique urbaine dans plusieurs villes du Sénégal et d'un modèle de géoïde géométrique (GG12) à partir d'une adaptation locale du modèle de géoïde EGM2008, un réseau de points (RRUS) a été mis en place en 2011 dans les villes de Dakar, Thiès, Mbour, Kaolack, et Louga. Ces points ont été rattachés en planimétrie par observations GNSS au RRS04 et en altimétrie par nivellement direct au NGAO53. Le GG12 fait suite au modèle GG04 établi à partir de EGM96 en 2004, moins précis que EGM2008. Les altitudes de ces points ont été déterminées à partir de cheminements en boucles fermées et aller-retour permettant de calculer les écarts de fermeture de chacun des cheminements, comme l'indique la figure 9. Des repères connus ont également été intégrés dans les cheminements. Cette approche a donc non seulement permis de comparer chaque écart de fermeture par rapport à la tolérance fixée, mais également de pouvoir détecter d'éventuelles fautes sur les observations ou des incohérences sur les repères connus de 1^{er} et 4^e ordre utilisés.

Le rapport d'établissement du GG12 indique une précision centimétrique de la grille autour de 25 km des points utilisés pour son établissement (une amélioration de quelques centimètres par rapport à GG04) et une précision métrique au-delà de ce rayon. Ceci limite donc considérablement son adaptation à la plupart des travaux de nivellement réalisés qui demande



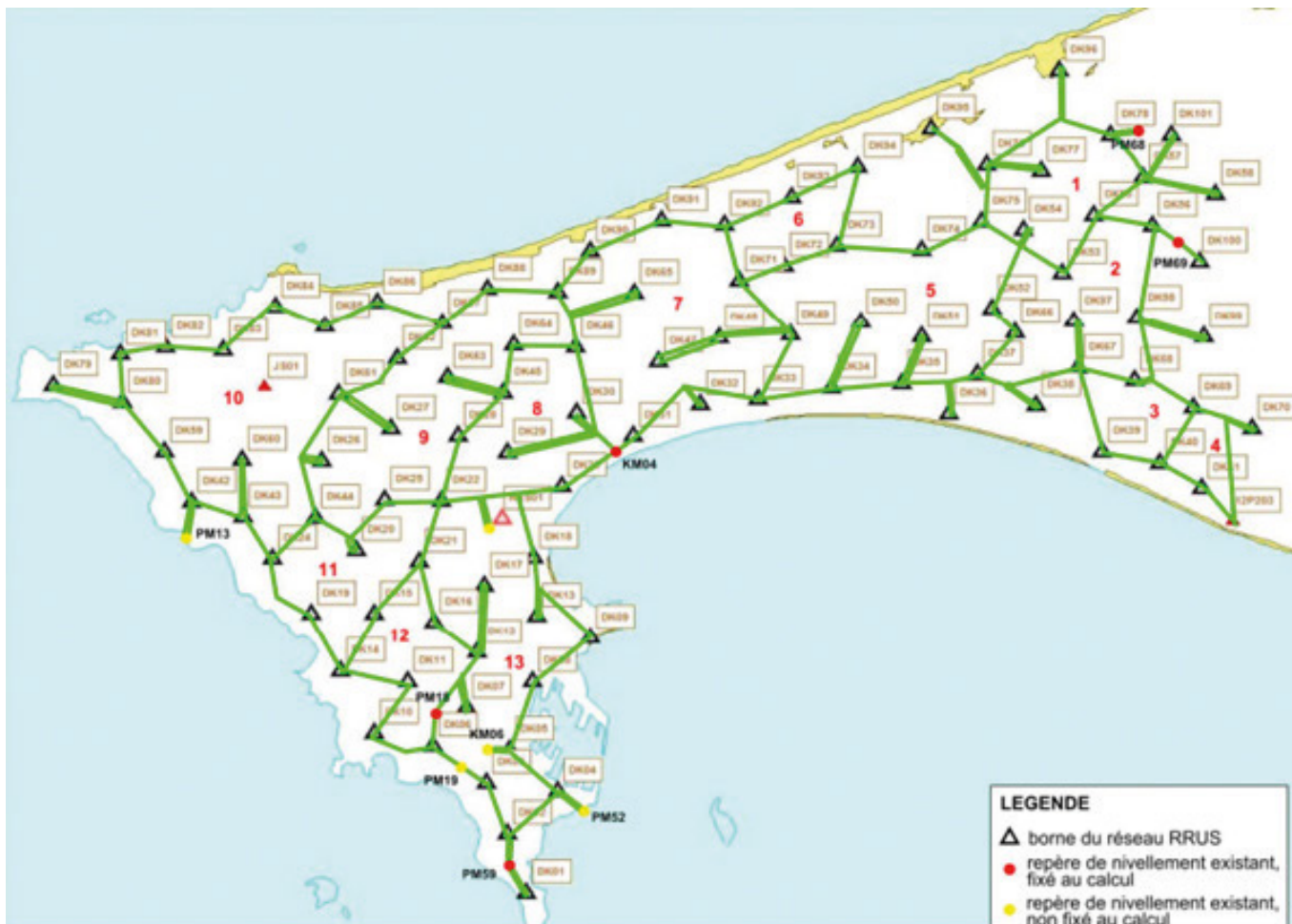


Figure 9. Schéma des cheminements de nivellement et numérotation des boucles (IGN FI, 2008).

le plus souvent des précisions millimétriques à quelques centimètres. En plus, l'existence de repères de nivellement assez denses dans ces villes concernées permet aux professionnels de se rattacher facilement au réseau altimétrique sans faire de long cheminement et donc de pouvoir assez facilement atteindre les précisions escomptées. Mais aussi, la précision annoncée du GGV12 est variable du fait d'une variation potentiellement rapide de la pesanteur dans certaines zones avec l'utilisation du modèle de champ et de la densité non homogène des points utilisés.

Plus récemment, un réseau similaire (RRUS20) a été mis en place en 2020 avec des points implantés dans les villes de Diourbel, Tamba, Matam, Kolda et Ziguinchor et rattachés en planimétrie au RRS04 et en altimétrie au NGAO53 (Tech BTP, 2020). Les rapports de ces travaux décrivent pour le nivellement direct en aller

et retour (avec des portées de 25 à 30 m), une précision relative correspondant à l'écart de fermeture de chaque cheminement, inférieure à 1 cm conformément aux spécifications définies par l'ANAT/DTGC. Néanmoins, un ou quelques cheminements encadrés auraient mieux permis de quantifier la qualité des différents rattachements et la stabilité des points de référence que le cheminement en boucle ne permet pas systématiquement de faire ressortir.

À côté de ce réseau de nivellement, existe le réseau de référence géodésique du Sénégal (RRS04) composé de 20 points de premier ordre, 137 points de deuxième ordre et des points de densification répartis sur les différentes régions du Sénégal. Les 137 points de deuxième ordre ont été tous rattachés en 2008 au NGAO53. Il est prévu, au courant de l'année 2023, la modernisation du RRS04 par l'installation d'un réseau de stations GNSS permanentes,

qui devrait à terme être composé de 20 stations de référence permanentes (CORS), la réhabilitation, le recalcul des points de premier et deuxième ordre dans le cadre du Projet Cadastre et Sécurisation Foncière (PROCASEF).

Diagnostic et évaluation

Le référentiel altimétrique sénégalais (NGAO53) est composé de différentes mailles de nivellement avec une dizaine de sections ayant permis de mettre en place les repères qualifiés de 1^{er}, 2^e, 3^e et 4^e ordre couvrant l'ensemble du territoire national (figure 5). Cette couverture géométrique a tenu compte de l'extension du réseau dans les anciennes colonies françaises à l'époque en passant donc par les grandes villes frontalières, mais également des enjeux socio-économiques avec des densifications particulières à Dakar et dans la vallée du fleuve Sénégal (OMVS).



Les types de cheminements (en boucle pour les points de 1^{er} et 4^e ordre, encadrés pour les points de 2^e et 3^e ordre) utilisés sont bien en phase avec les préconisations faites pour de tels types de travaux, car pouvant garantir la fiabilité, l'homogénéité et la stabilité du réseau. Malheureusement, les informations complémentaires qui pouvaient découler de tels cheminements qui permettraient d'évaluer ces différents critères n'ont été retrouvées que sur certains documents recueillis qui concernaient principalement des sections de nivellement de troisième ordre. Il s'agit particulièrement des écarts de fermeture obtenus sur chaque cheminement, des tolérances fixées pour chaque ordre, des caractéristiques techniques des instruments utilisés, des méthodes de contrôle utilisées, de l'existence ou non de compensation et de quel type pour chaque ordre, etc. En plus, le type de cheminement utilisé pour chaque section, pris à part si on se réfère à la documentation, semble être des cheminements simples (pour les sections de premier et deuxième ordre). Alors que dans la réalisation de telles infrastructures géodésiques, il est fortement recommandé (et même obligatoire), d'effectuer des cheminements aller-retour pour les points de premier ordre et de deuxième ordre (avec possibilité de cheminements encadrés). En l'absence d'une telle approche, il ne sera pas possible de garantir une qualité adéquate des mesures et calculs effectués ou de détecter des sections avec des fautes d'observation et/ou de calcul, même si des méthodes de contrôle en marche, comme les techniques de Cholesky ou de Merlin, peuvent par exemple être adoptées en cheminement simple, mais restent insuffisantes.

Mais les écarts de fermeture trouvés sur certaines sections de troisième ordre laissent croire à une possibilité que les sections de deuxième ordre (à défaut de celles de premier ordre) aient été au moins établies avec la même rigueur ou plus.

Le NGAO53 est un réseau ancien, de plus d'un demi-siècle d'existence sans travaux d'entretien ni de maintenance des repères. Ceci peut occasionner

que beaucoup de repères puissent devenir inutilisables car endommagés, ensevelis, ou inaccessibles du fait du changement de l'environnement du repère, etc. Il a été aussi noté que l'extension du réseau a, par la suite, été faite non pas par une approche réseau basée sur une densification globale, mais par des initiatives permettant de répondre à des besoins de positionnement dans des zones spécifiques. Cette approche qui ne traduit pas une politique réelle de gestion d'un réseau altimétrique à dimension nationale, n'avait pas semblé changer, même après les indépendances. L'initiative de modernisation du NGAO53 dans laquelle s'inscrit cette étude, prise en 2023 par la Direction des Travaux Géographiques et Cartographiques (DTGC) qui a en charge la gestion des infrastructures géodésiques nationales, devrait permettre de corriger cette situation.

Le travail d'inspection et de diagnostic réalisé a permis de noter que (qu') :

- une bonne partie (plus de 90 %) des repères de nivellement qui ont été placés sur des ouvrages hydrauliques ont disparu avec la réhabilitation des routes et la reconstruction des dits ouvrages. Malheureusement, les entreprises en charge des dits travaux ne prennent pas le soin de réimplanter les repères avec l'absence de spécifications dans les cahiers de charge qui devraient permettre la remise en état avec redétermination des altitudes de ces repères. C'est ce qui a fait, par exemple, que les repères de premier ordre implantés le long de la route nationale n° 1 (Dakar-Tamba) ont pour la plupart été détruits avec la réhabilitation de cette route ;
- les bornes de nivellement qui ont été implantées le long des chemins de fer et de l'ancienne route intercontinentale ont été soit retrouvées en bon état, soit disparues (trop ensevelies d'après les personnes locales interrogées) pour la plupart ;
- les repères placés sur des édifices publics (bâtiments administratifs, écoles, etc.) restent généralement en bon état de conservation, excepté ceux se trouvant sur des édifices étant détruits ou ayant fait l'objet de grands travaux de rénovation. Il a

été noté qu'une telle situation n'était pas fréquente pour les édifices sur lesquels des repères NGAO53 ont été placés ;

- beaucoup d'anomalies sur certains répertoires d'emplacement et fiches signalétiques avec des informations et descriptions non exhaustives rendant difficile la localisation de certains repères ont été notées ;
- l'absence de coordonnées sur ces repères altimétriques a été notée. Ces coordonnées devraient faciliter la localisation des repères avec les nouveaux outils de localisation et de leur intégration et gestion dans une base de données ;
- les altitudes des repères du NGAO53 ont été déterminées sans aucun calcul ni compensation en bloc sur les différents ordres, ce qui ne permet pas de garantir une homogénéité du réseau altimétrique et un contrôle plus rigoureux, constituant pourtant une des caractéristiques des réseaux altimétriques. De simples calculs d'écarts de fermeture ont été effectués suivant différentes sections afin d'assurer un contrôle par rapport aux tolérances ;
- un seul repère fondamental sur une partie excentrée du pays (à l'ouest, précisément au Port autonome de Dakar) a été utilisé pour le calcul des altitudes qualifiées de type orthométrique, donc rattachées au niveau moyen de la mer. Ce qui pourrait s'écarter de la réalité pour les repères plus éloignés. L'utilisation de marégraphes et de points fondamentaux supplémentaires serait donc mieux indiquée.

Une bonne couverture géométrique du NGAO53 avec les différents ordres du territoire national a été constatée, même si l'existence des repères n'est pas aujourd'hui garantie vu leur ancienneté. Il a été noté que le type d'altitude officiellement annoncé est de type orthométrique. Mais il faut rappeler qu'une altitude représente une grandeur physique définie par rapport à une surface de référence physique ayant un potentiel de pesanteur constant. Dans la définition au sens commun, elle représente l'éloignement d'un point par rapport au géoïde suivant la ligne de force ou au niveau moyen des mers. Mais de manière rigoureuse, elle



est beaucoup plus complexe si nous savons que les surfaces horizontales ne sont pas parallèles, mais aussi, qu'une différence d'altitude est censée par exemple, définir le sens d'écoulement d'un liquide homogène du fait d'une différence de potentiel entre deux points.

Nous pouvons donc noter que, quel que soit le type d'altitude considéré, celui-ci suppose une connaissance de la pesanteur dont les mesures sont aujourd'hui effectuées par des gravimètres. Alors qu'il n'a été noté, nulle part, une quelconque mesure de pesanteur ou des mesures gravimétriques dans la mise en place du NGAO53.

Donc même si les altitudes du NGAO53 sont officiellement considérées comme des altitudes de type orthométrique, il n'en est rigoureusement pas le cas. Le référentiel altimétrique utilisé n'est alors rigoureusement relié à aucune des surfaces de référence altimétrique usuelles (géoïde ou quasi-géoïde).

Le niveau moyen des mers représente l'approximation physique la mieux connue du géoïde. À cet effet, les réseaux de nivellement sont généralement calés par rapport à cette surface qui n'est pas tout à fait équipotentielle du fait de la variation de température, de salinité, etc. Il n'a également été noté, depuis plus d'un demi-siècle, aucune mission de maintenance et de vérification de la stabilité des repères de nivellement du NGAO53 ou de la détermination de leur vitesse de déplacement vertical, alors que cette stabilité est un des critères garantissant la qualité d'un réseau de nivellement.

Possibilités de modernisation

Les besoins de plus en plus accrus en matière de positionnement et l'utilisation quasigénéralisée des techniques de positionnement par satellite (GNSS) imposent l'adoption de référentiels altimétriques modernes et en phase avec les enjeux actuels liés au positionnement altimétrique.

À cet effet, pour que le réseau altimétrique sénégalais puisse s'aligner aux standards actuels des réseaux altimétriques modernes, il est impératif de le

moderniser. Pour cela, tenant compte des réalités socio-économiques du pays, l'une des approches proposées ci-dessous pourrait être adoptée selon les ressources disponibles.

- Mise en place d'un modèle de géoïde gravimétrique couvrant l'ensemble du territoire national : ce modèle serait établi à partir de campagnes de mesures gravimétriques qui permettraient de déterminer les valeurs de pesanteur et les cotes géopotentielles. Ces mesures seront combinées aux mesures par nivellements direct et GNSS afin d'arriver à un modèle de géoïde calé aux altitudes du réseau de nivellement pour les besoins des professionnels. Selon le choix du type d'altitude qui sera utilisé, normale, comme pour la France ou orthométrique, comme pour le Canada, un ellipsoïde de référence pourra ou non être adopté. Avec le relief relativement plat du Sénégal et la précision des instruments de mesure actuels, il sera possible de disposer d'un modèle de géoïde avec une précision centimétrique (< 5 cm à minima). Cela permettrait dès lors, de rattacher les futures stations de référence permanentes (CORS) du réseau géodésique modernisé au réseau altimétrique et aussi de permettre aux utilisateurs de faire du positionnement altimétrique par GNSS avec une précision de moins de 5 cm sur l'ensemble du territoire national. Une telle précision pourra facilement être meilleure que celles qui pouvaient être obtenues sur de longs cheminements altimétriques par nivellement direct, ce qui pouvait facilement être le cas avec la configuration du réseau et son ancienneté. À cela s'ajoutent les gains de temps et financier qui pourront en être tirés.

- Une adaptation d'un modèle de champ mondial comme les EGM : une telle adaptation serait à l'image de ce qui a été fait en 2004 avec EGM96 et en 2008 avec EGM2008 sur certaines grandes villes du pays. Il serait judicieux pour ce cas-ci, de faire une évaluation de la précision au Sénégal, des principaux modèles de champs existants, d'en tirer le meilleur avant de quantifier et de cartographier la différence des ondulations qui seront fournies par

le modèle et les ondulations issues des campagnes de mesures GNSS et par nivellement direct. La précision et la qualité du modèle qui sera établi dépendront de la densité des points nivelés et de la qualité des mesures et calculs effectués. Ces campagnes de mesures GNSS et par nivellement direct pourront aussi être l'occasion d'entretenir, de reconstruire et/ou de réhabiliter les repères du NGAO53 le nécessitant, mais également de faire un nouveau calcul du réseau pour la détermination de nouvelles altitudes.

Il pourrait être mieux indiqué, vu la position du marégraphe de Dakar, dans la modernisation du référentiel altimétrique, d'installer au moins trois marégraphes (à Dakar, Saint-Louis et Ziguinchor) qui permettront de disposer de trois points fondamentaux. Le calcul et la compensation du nouveau réseau pourront ainsi être contraints sur ces trois points à l'ouest, au nord et au sud.

Conclusion

La situation actuelle du réseau de nivellement du Sénégal montre qu'une modernisation du dit référentiel s'impose. Le futur référentiel devrait répondre aux besoins des différents utilisateurs en matière de positionnement altimétrique, avoir une couverture géométrique suffisante et adaptée aux nouvelles technologies de positionnement. Il devrait également, s'appuyer sur l'existant en tirant profit des points forts du référentiel actuel et en corrigeant ses points faibles.

Sa situation de réseau altimétrique commun à plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest constitue un réel avantage et une base sérieuse pour aboutir à un référentiel altimétrique régional modernisé commun, si les pays concernés s'y impliquent. Cela constituerait un réel atout pour de nombreuses études et beaucoup de projets particulièrement les projets transfrontaliers. ●

Contacts

Diogoye DIOUF,
Enseignant-chercheur, Université Iba Der Thiam de Thiès (UIDT), Sénégal
diogoye.diouf@univ-thies.sn
Ibrahima DIANDY, géomètre-expert



Bibliographie

Annexe de Dakar de l'IGN (1954). *Répertoires de coordonnées de points astronomiques et géodésiques.*

Diallo B. (2017). *État actuel du point fondamental du NGA053, mise en place d'un nouveau point fondamental.* Projet de fin d'étude (PFE) d'ingénieur, UFR SI.

Direction de la référence géodésique du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (1989). *Instruction pour l'établissement des réseaux géodésiques de base.*

DTGC (2008). *Rapport de reconnaissance des points de nivellement de Dakar.*

Faye B. et Sow A. (2015). *Validation du géoïde EGM2008 par la méthode GPS et du nivellement direct dans la commune de Thiès.* Projet de fin d'études (PFE) d'ingénieur, UFR SI.

Groupe Africonsult et Geoscience (2005). *Élaboration d'un Modèle Numérique de Terrain, rapport de mission de contrôle.*

IGN/SGN (2011). *Rapport de mesure du réseau géodésique RRUS11 dans l'agglomération de Dakar - Sénégal.*

IGN (1957) : *Répertoires des emplacements et altitudes des repères de nivellement*
Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping (ICSM) (2021). *Geocentric*

Datum of Australia 2020 Technical Manual 1 Version 1.7

Poyard J. C. (2011). *Rattachement métrologique du marégraphe à la station GNSS permanente.*

Tech BTP (2020). *Rapport de travaux de nivellement pour la mise en place du RRUS.*

ABSTRACT

Senegal's elevation frame, known as the General Levelling of West Africa (NGA053), was established in 1953 to serve as a reference elevation frame in the former French colonies in West Africa. It is composed of different levelling grids covering the entire national territory that have made it possible to set up the 1st, 2nd, 3rd and 4th order benchmarks. The altitudes of the various landmarks were determined from the fundamental point placed next to the tide gauge of the autonomous port of Dakar. It was noted, as a result of the inspection and diagnostic work carried out, that the NGA0 suffers from a lack of maintenance and updating, but also characterized by non-exhaustive metadata on the implementation of the benchmarks of the different orders. On 1st order markers, 62% are unusable (destroyed or disappeared), while for 2nd, 3rd and 4th order markers, on average, 72% of the benchmarks remain unusable. This observation shows the urgency of maintaining this historical elevation frame, but also of modernizing it in order to align it with international standards in terms of current elevation reference.

• géomatique • topographie • SIG • géomatique • cartographie • génie civil •

photogrammétrie • géodésie • métrologie • hydrographie

photogrammétrie • géodésie • métrologie • hydrographie •

POUR COMMUNIQUER PENSEZ À L'AFT ANNONCES, BANNIÈRES, ÉVÈNEMENTS



L'AFT rapproche tous les professionnels de la topographie et de la géomatique (producteurs, utilisateurs, enseignants...)



CONTACT : SAMUEL GUILLEMIN

Tél : 06 72 12 08 97 Courriel : communication@aftopo.org

• géomatique • topographie • SIG • géomatique • cartographie • génie civil