

La subsidence des zones côtières en Afrique de l'Ouest : une menace négligée ? Le cas de Lagos et du delta de la Volta

Le delta de la Volta au Ghana et Lagos sont confrontés à un affaissement progressif du sol, un phénomène appelé subsidence, qui vient s'ajouter à l'élévation du niveau de la mer. Dans les deux régions, plusieurs facteurs entraînent des taux de subsidence de plusieurs millimètres par an, exacerbant les risques côtiers existants. Nous soulignons donc le besoin urgent de mettre en place des stratégies intégrées (le déploiement de points de contrôle au sol pour les données satellitaires, la surveillance à l'échelle locale et la mise à l'échelle de solutions efficaces fondées sur la nature et adaptées aux sites) soutenues par des politiques régionales de partage des données et de libre accès aux données afin de protéger les communautés vulnérables.

I. Introduction : la menace croissante de la subsidence des zones côtières

La subsidence des zones côtières (voir encadré) est une menace sous-estimée en Afrique de l'Ouest, qui aggrave les risques liés à l'élévation du niveau de la mer (ENM) et met en danger des millions de vies et de moyens de subsistance. Alors que l'attention mondiale se concentre sur l'ENM induite par le changement climatique, la subsidence des terres amplifie de façon insidieuse ses impacts à travers l'élévation relative du niveau de la mer (ErNM, l'effet combiné de l'ENM et de la subsidence), en particulier dans les deltas à basse élévation et dans les villes côtières qui s'urbanisent rapidement. Combinée à l'ENM, la subsidence intensifie les inondations, l'érosion côtière et les intrusions salines, menaçant les infrastructures critiques, les écosystèmes et les moyens de subsistance socio-économiques (Appeaning Addo et al., 2011 ; Avornyo et al., 2023). Sans une intervention efficace ciblant les causes profondes de la subsidence côtière, les risques continueront de s'aggraver. Des stratégies de gestion intégrée des zones côtières sont donc essentielles pour traiter à la fois les causes et les impacts de la subsidence, en protégeant les communautés côtières vulnérables situées dans des zones de basse altitude en Afrique de l'Ouest.

Auteurs

Femi Emmanuel Ikuemonisan (Lagos State University of Education)

Selasi Yao Avornyo (University of Ghana)

Philip S. J. Minderhoud (Wageningen University)

Pietro Teatini (Università degli studi di Padova)

Marie-Noëlle Woillez (AFD)

Kwasi Appeaning Addo (University of Ghana)

Qu'est-ce que la subsidence?

La subsidence est définie comme l'affaissement progressif de la surface du sol. Elle peut être causée par des processus naturels, par l'activité humaine ou par les deux. Les facteurs naturels comprennent l'activité tectonique ou la compaction de sédiments meubles et non consolidés sous l'effet d'une charge accrue, telle que l'accumulation de nouveaux sédiments. Ce dernier phénomène se produit notamment dans les deltas des fleuves, qui sont des formations géologiques jeunes avec d'épaisses couches de sédiments non consolidés et de nouveaux apports continus de sédiments fluviaux. Les activités humaines comprennent l'urbanisation rapide, dont les bâtiments et des infrastructures augmentent le poids à la surface, ou l'extraction de fluides (eau, pétrole ou gaz) dans le sous-sol. En effet, la diminution de la pression due au pompage entraîne une réduction de la porosité dans les couches sédimentaires, ce qui a pour effet d'augmenter la compaction souterraine et donc la perte d'élévation à la surface. En particulier, la surexploitation des ressources en eau souterraine est une cause bien connue des taux de subsidence les plus élevés observés dans le monde, par exemple dans le delta du Mékong ou à Jakarta, où des valeurs de plus de 5 cm/an et de 10 cm/an respectivement, sont enregistrées à certains endroits. Les limons et les argiles étant plus compressibles que le sable, le potentiel de subsidence dépend de l'épaisseur et de la composition des couches sédimentaires.

Dans les deltas et littoraux à l'état naturel, les nouveaux apports de sédiments compensaient la subsidence naturelle. Mais aujourd'hui, dans de nombreuses régions, la pénurie de sédiments causée par les barrages en amont, les détournements de cours d'eau et les infrastructures côtières, perturbent le dépôt naturel de sédiments, empêchant ainsi le rétablissement de l'élévation.

2. Le delta de la Volta et la mégapole de Lagos : deux environnements distincts touchés par la subsidence

La côte ouest-africaine de faible élévation, bien que peu étudiée, est devenue une région critique pour comprendre les risques conjugués de la subsidence côtière et de l'ENM. Afin de souligner l'urgence qu'il y a à traiter les risques de la subsidence, nous présentons les résultats de deux études de cas : le delta de la Volta (Ghana) (Avorny et al. 2024) et Lagos (Nigeria) (Ikueomonisan et al. 2023). Ces cas illustrent les conséquences irréversibles d'une poursuite des pratiques actuelles et la nécessité de trouver des stratégies de gestion intégrée pour protéger les communautés et les écosystèmes vulnérables.

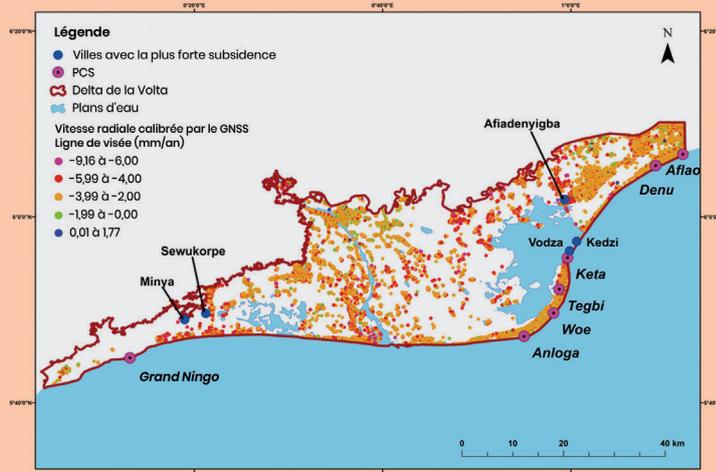
Étude de cas 1 : le delta de la Volta, Ghana – Mesurer l'impact de l'élévation relative du niveau de la mer (ErNM)

La subsidence et l'ErNM constituent une menace existentielle pour le delta de la Volta, un pôle agricole et écologique vital au Ghana. Les données satellitaires (PS-InSAR^[1], une technique pour mesurer la déformation du sol à l'aide d'images radar de la surface terrestre) et les données du système mondial de navigation par satellite (GNSS pour *Global Navigation Satellite System*, qui fournit le géopositionnement) utilisées pour identifier les points critiques de la subsidence révèlent des taux allant jusqu'à ~9 mm/an (Figure 1), c'est-à-dire des valeurs du même

ordre ou plus élevées que l'actuelle élévation moyenne du niveau de la mer (~3,7 mm/an). En intégrant les projections des mouvements verticaux locaux du sol – en supposant que les taux de subsidence actuels restent constants – avec les projections de l'ENM et les données d'élévation, l'étude prévoit que jusqu'à 45 % du delta pourrait être inondé de façon permanente d'ici 2100, et près de 10 % de cette perte serait attribuée à la subsidence. Selon le scénario d'ENM, la subsidence pourrait accroître la zone deltaïque à risque de 4,31 % (soit 96,27 km²) à 10,18 % (soit 227,64 km²). Les facteurs de subsidence dans le delta comprennent la compaction naturelle des dépôts alluviaux compressibles, la surexploitation des ressources en eau souterraines, l'oxydation du sol et la pénurie de sédiments causée par les interventions côtières et le débit régulé du fleuve Volta. En outre, les digues des marais salants et les modifications des terres ont perturbé la distribution des sédiments, exacerbant le problème.

Figure 1 : Carte du delta de la Volta montrant les mouvements moyens du sol observés par satellite (PS-InSAR, mesures en ligne de visée) sur la période 2016-2020.

Les valeurs négatives suggèrent un déplacement vertical descendant du sol, c'est-à-dire de la subsidence. Les positions des points de contrôle au sol (PCS) sont des emplacements où des données de référence surveillées par le GNSS sont disponibles.



Source : Avorny et al. (2024)

Les effets de l'ErNM sont déjà évidents dans la fréquence et l'intensité croissantes des aléas côtiers. Les inondations, l'érosion et les intrusions salines se sont intensifiées ces dernières années, plus de 30 % des ménages échantillonnés dans 9 districts ayant signalé ces impacts. Plus de 60 % du littoral subit l'érosion, principalement en raison de la dynamique sédimentaire perturbée et de la pénurie de sédiments, mais l'ErNM aggrave cette pression. Des communautés telles que Fuveme, Adina et Keta ont subi des pertes significatives d'infrastructures résidentielles et publiques, de terres agricoles et de zones de pêche. Les intrusions salines dans les sources d'eau douce, qu'il s'agisse d'eaux souterraines ou d'eaux de surface, a également été signalée dans plusieurs communautés côtières, affectant gravement l'agriculture dépendante de l'irrigation et réduisant les rendements agricoles. Ces changements ont entraîné des déplacements de la population locale et menacé les moyens de subsistance socio-économiques. Le delta de la Volta sert d'avertis-

[1] Pour Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar, Radar interférométrique à synthèse d'ouverture utilisant des réflecteurs persistants en français

sement pour les autres deltas d'Afrique de l'Ouest où des facteurs similaires de subsidence et d'ErNM sont à l'œuvre. En l'absence de mesures d'atténuation visant à réduire la subsidence et la perte d'altitude qui en découle, l'exposition de la région à l'ErNM continuera de s'aggraver, soulignant la nécessité de stratégies de gestion intégrées des zones côtières.

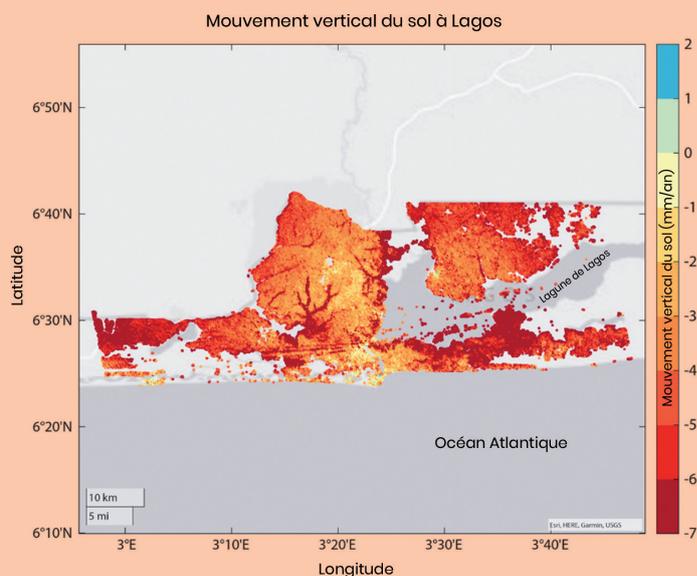
Étude de cas 2 : Lagos – l'urbanisation et l'extraction des eaux souterraines comme facteurs de subsidence

Avec environ 24 millions d'habitants, Lagos est la plus grande ville côtière d'Afrique de l'Ouest et un centre économique majeur. De nombreux endroits de la ville sont situés à moins de deux mètres au-dessus du niveau marin local, principalement sur les bords de sa lagune centrale, et sont donc exposés à l'ErNM et aux inondations côtières. Bien que peu d'études aient été consacrées à la subsidence à Lagos, les recherches existantes montrent que certaines parties de la ville sont fortement touchées (Figure 2), avec des taux, des répartitions spatiales et des risques associés variables, ce qui souligne la nécessité de mener des études scientifiques plus approfondies. Les données satellitaires radar pour la période 2018–2021 montrent des taux de subsidence supérieurs à 4 mm/an, avec des zones sensibles dépassant 6 mm/an à Lekki, dans le sud-ouest de Lagos et dans les plaines inondables (Ohenhen et Shirzaei, 2022). Bien que les taux de subsidence actuels puissent sembler relativement faibles, ils entraînent déjà des dommages significatifs dans certaines parties de la ville, plusieurs effondrements de bâtiments ayant été observés dans les zones où la subsidence est la plus importante. Dans les 10 à 75 prochaines années, jusqu'à 81 km² et 4050 bâtiments pourraient être exposés à des risques élevés. Une autre étude basée sur les données géodésiques (2004–2019) suggère que les taux de subsidence pourraient par endroits être nettement plus élevés, jusqu'à ~87 mm/an dans certaines parties de la ville (Ikuemonisan et Ozebo 2020). Ce phénomène est attribué à la surexploitation des eaux souterraines et à l'urbanisation.

Plus de 80 % de la population croissante de Lagos n'a pas accès à de l'eau potable par un réseau public et la plupart des habitants dépendent de puits et de trous de forage. Développer l'accès à l'eau est donc l'un des principaux défis de la ville. Cependant, une stratégie fondée sur l'augmentation du pompage des eaux souterraines, par exemple, pourrait augmenter de manière significative les taux de subsidence et l'exposition aux risques liés à l'ErNM, en fonction de l'ampleur du pompage et du contexte géologique.

Bien que les différences de méthodologie et de couverture spatiale contribuent aux disparités dans les taux de subsidence rapportés, les études s'accordent sur le fait que la subsidence est un problème en cours à Lagos : risque accru d'inondation, instabilité structurelle conduisant à l'effondrement de bâtiments et pression économique due aux dégâts matériels et aux déplacements. Toutefois, étant donné le nombre limité d'études, des incertitudes existantes et de la rareté des données de terrain, il est essentiel de poursuivre les recherches scientifiques s'appuyant sur des ensembles de données à long terme et à haute résolution, ainsi que sur des approches pluridisciplinaires. Et ce afin d'évaluer avec précision les tendances en matière de subsidence, d'élaborer des stratégies d'atténuation efficaces et d'éviter de créer un nouveau « cas Jakarta ».

Figure 2 : Carte du mouvement vertical du sol (mm/an) à Lagos entre 2018 et 2021, à partir des données du satellite Sentinel-1 (référéncé dans le système de référence mondial IGS14).



Source : Oluwaseyi Dasho, Virginia Tech.

3. Remédier aux lacunes : les défis en matière de surveillance et de collecte de données

La subsidence côtière en Afrique de l'Ouest reste mal quantifiée, en raison de lacunes critiques dans les infrastructures de surveillance et de gouvernance. La faible couverture des points de contrôle au sol et des stations permanentes GNSS limite la validation InSAR et entrave les mesures de haute précision des mouvements du sol, en particulier dans les zones côtières vulnérables et dynamiques où les taux de subsidence varient dans l'espace, et ce même sur des courtes distances. En outre, l'utilisation de modèles numériques d'élévation (MNE) mondiaux obsolètes, souvent à faible résolution spatiale, masque encore davantage les changements subtils d'élévation et l'évaluation des zones à risque d'inondation. D'une façon générale, le (post-)traitement, la gestion et l'interprétation des données scientifiques représentent un défi, en particulier lorsqu'il s'agit de passer des observations InSAR sur les mouvements verticaux du sol à des projections d'élévation relative du niveau marin. Ces défis engendrent des incertitudes supplémentaires dans les études actuelles et soulignent la nécessité d'une approche rigoureuse et uniforme. À ces limites techniques s'ajoutent des lacunes institutionnelles, notamment des mandats qui se chevauchent et des rivalités entre agences qui empêchent toute action coordonnée. Les structures de gouvernance fragmentées en Afrique de l'Ouest, notamment la faible mise en œuvre des politiques relatives à l'extraction des eaux souterraines, donnent lieu à des pratiques non régulées telles que leur surexploitation, qui accélère la subsidence. En outre, l'absence de cadres régionaux pour la collaboration et le partage des données entrave le développement d'une approche unifiée pour la surveillance de la subsidence. Enfin, les données hydrogéologiques nécessaires pour évaluer le potentiel de subsidence sont rares et dispersées dans différentes institutions publiques ou entreprises privées et ne sont pas facilement accessibles à la communauté scientifique. En l'absence d'efforts coordonnés, les différents pays peinent à mettre en commun leurs ressources, à partager

leur savoir-faire ou à mettre en œuvre des protocoles de surveillance normalisés, ce qui laisse la région insuffisamment préparée à traiter ce problème transfrontalier.

4. Trajectoires de résilience : des solutions axées sur les données pour les zones côtière de l'Afrique de l'Ouest

Les problèmes de subsidence côtière en Afrique de l'Ouest exigent une stratégie intégrée combinant innovation géospatiale, coopération régionale et gouvernance participative. Les premières étapes essentielles comprennent le déploiement de stations permanentes GNSS fournissant des données en libre accès pour vérifier au sol les données satellitaires InSAR dans les zones à haut risque comme Lagos et le delta de la Volta, complétées par des réseaux piézométriques et des enquêtes sur le terrain pour affiner la connaissance du sous-sol et de l'hydrogéologie ainsi que les évaluations de la subsidence. Les organismes régionaux tels que la Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) doivent être le fer de lance de protocoles de surveillance normalisés et d'infrastructures de données partagées pour traiter les facteurs transfrontaliers tels que l'extraction des eaux souterraines, tandis que les initiatives communautaires peuvent étendre la couverture d'observation grâce à des outils peu coûteux et à l'intégration des connaissances locales. En parallèle, des politiques juridiquement contraignantes, notamment des plans de gestion intégrée des zones côtières, devraient réglementer l'utilisation des ressources en eau souterraines et le zonage des terres pour réduire les contributions anthropiques à la subsidence. Elles devraient être associées à des solutions fondées sur la nature telles que la restauration des mangroves pour stabiliser les sédiments et atténuer l'érosion. Ces efforts doivent donner la priorité aux plateformes de données en libre accès pour permettre le suivi en temps réel et la recherche interdisciplinaire, en assurant l'alignement sur les engagements climatiques mondiaux pris dans le cadre de l'Accord de Paris et du Cadre d'action de Sendai. En alliant rigueur technique, gestion écologique et gouvernance participative, l'Afrique de l'Ouest peut forger un modèle évolutif de résilience côtière face à l'aggravation des pressions climatiques et anthropiques.

5. Conclusion et appel à la mobilisation

Afin d'atténuer les risques posés par la subsidence dans la sous-région de basse altitude d'Afrique de l'Ouest, les autorités concernées et les décideurs politiques doivent donner la priorité à quatre fronts :

1. **Surveillance précise** : déployer un réseau de stations GNSS peu coûteuses et de données InSAR vérifiées sur le terrain pour cartographier les foyers de subsidence, afin de s'assurer que les décisions soient étayées par des données en temps réel et de haute résolution.

2. **Collaboration régionale** : établir des cadres communs pour le partage transfrontalier des données, la mise en commun des ressources et la recherche conjointe afin de s'attaquer aux causes de la subsidence.

3. **Politique de données en libre accès** : mettre gratuitement à disposition, à des fins non commerciales, toutes les données collectées sur la subsidence, les contextes hydrogéologiques, l'utilisation des eaux souterraines, la pression dans les aquifères et leurs propriétés.

4. **Gouvernance adaptative** : intégrer l'atténuation de la subsidence dans les politiques climatiques nationales, appliquer les réglementations relatives à l'utilisation des sols, restaurer les mangroves ou les zones humides pour assurer une résilience naturelle et responsabiliser les communautés par un suivi participatif afin de favoriser l'appropriation des stratégies d'adaptation.

La voie à suivre nécessite une collaboration urgente entre les gouvernements, les chercheurs, la société civile et les partenaires internationaux. En combinant surveillance géospatiale avancée, gestion écologique et cadres de gouvernance collaborative, l'Afrique de l'Ouest peut protéger ses communautés côtières, ses écosystèmes et sa durabilité sur le long terme. Il est impératif d'agir dès à présent pour prévenir les conséquences irréversibles de l'élévation du niveau des mers et de la subsidence.

Références bibliographiques

Appeaning Addo et al. (2011). Impacts of coastal inundation due to climate change in a cluster of urban coastal communities in Ghana, West Africa. *Remote Sensing*, 3(9), 2029–2050.

Avorny et al. (2023). A scoping review of coastal vulnerability, subsidence and sea level rise in Ghana : assessments, knowledge gaps and management implications. *Quaternary Science Advances* 12, n°1 : 1-15.

Avorny et al. (2024). The contribution of coastal land subsidence to potential sea-level rise impact in data-sparse settings : the case of Ghana's Volta delta. *Quaternary Science Advances* 14, juin : 100175.

Ikuemonisan et Ozebo (2020). Characterisation and mapping of land subsidence based on geodetic observations in Lagos, Nigeria. *Geodesy and Geodynamics* 11, n° 2 : 151-162.

Ikuemonisan et al. (2023). A scoping review of the vulnerability of Nigeria's coastland to sea-level rise and the contribution of land subsidence. *Papiers de recherche* 284 : 1-34.

Ohenhen et Shirzaei (2022). Land subsidence hazard and building collapse risk in the coastal city of Lagos, West Africa. *Earth's Future* 10, n°12.

Agence française de développement (AFD)
5, rue Roland Barthes | 75012 Paris | France
Directeur de la publication Rémy Rioux
Directeur de la rédaction Thomas Mélonio
Création graphique MeMo, Juliegilles, D. Cazeils
Conception et réalisation Ferrari
Traduction et relecture Cadenza Academic
Translations

Dépôt légal 3^e trimestre 2025 | ISSN 2277-7404
Crédits et autorisations
Licence Creative Commons CC-BY-NC-ND
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
Imprimé par le service de reprographie de l'AFD.

Les analyses et conclusions de ce document sont formulées sous la responsabilité de leur(s) auteur(s). Elles ne reflètent pas nécessairement le point de vue officiel de l'AFD ou de ses institutions partenaires.

Pour consulter les autres publications de la collection QDD : <https://www.afd.fr/collection/question-de-developpement>

