



Impact des pressions anthropiques et des changements climatiques sur la dynamique de la lagune Aghien (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)

Bi Sehi GOE ¹, Amidou DAO ², Loukou Alexis BROU ¹, Brou David AKAHOUA ¹,
Gla Blaise OUEDE ¹, Bérenger KOFFI ¹, Bamory KAMAGATE ³,
Kouakou Lazare KOUASSI ¹

1. Département des Sciences de la Terre, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.
goebi16@gmail.com
2. Laboratoire des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, Abidjan 02 BP 801, Côte d'Ivoire.
3. Ecole Normale Supérieure, Abidjan, BP 10 Abidjan 08, Côte d'Ivoire.

Résumé :

La lagune Aghien est pressentie pour l'alimentation en eau potable de la ville d'Abidjan. Ainsi, une modélisation est nécessaire pour simuler l'impact de cette exploitation couplée aux effets des changements climatiques sur le fonctionnement de cet écosystème lagunaire. Nos travaux visent donc à simuler le fonctionnement hydrodynamique de la lagune Aghien afin d'évaluer l'influence des pressions. La méthodologie a consisté à valider le modèle puis à simuler le fonctionnement hydrodynamique de cette lagune avant et pendant l'exploitation en prenant en compte les hypothèses de changements climatiques dans le bassin versant à l'horizon 2070. Avec un coefficient de rugosité de $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, les observations sont certes surestimées par le modèle avec un biais de $-1,92 \text{ cm}$ et un écart maximal de $5,75 \text{ cm}$ mais le NSE et la RMSE sont très satisfaisants avec des valeurs respectives de $90,91\%$ pour le NSE et $2,6 \text{ cm}$ pour la RMSE. La simulation de la dynamique des masses d'eau a révélé que l'exploitation entraînerait une baisse du niveau de l'eau allant de $0,38 \text{ mm}$ à $2,15 \text{ mm}$ avec une moyenne de $1,21 \pm 0,46 \text{ mm}$. Avec une réduction des apports des tributaires dû au changement climatique, cette baisse se situerait entre $0,79 \text{ mm}$ et $6,68 \text{ mm}$ pour une moyenne de $2,81 \pm 1,30 \text{ mm}$. Ainsi, malgré les pressions sur cette lagune, son fonctionnement hydrodynamique ne serait que très peu impacté.

Mots-clés : Hydrodynamique, Pompages, Changement climatique, Lagune Aghien, Abidjan, Côte d'Ivoire.

1. Introduction

Pour le commun des mortels, l'eau est une ressource indispensable à la vie. Elle est utilisée pour la production agricole, l'élevage et les besoins domestiques et industriels

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

(UNESCO, 2021). Pour l'alimentation en eau potable des populations, diverses ressources en eau sont utilisées en fonction des réalités de chaque pays (UNESCO, 2021 et 2022). Les pays ouest-africains qui bénéficient d'importantes ressources en eau douce de surface et souterraines s'alimentent uniquement par l'exploitation de ces ressources fortement influencées par les précipitations (KOFFI *et al.*, 2019). Pour les populations de la ville d'Abidjan, capitale économique de la Côte d'Ivoire, l'alimentation en eau potable est assurée par l'exploitation de la nappe du continental terminal (SORO *et al.*, 2010). Cette nappe est un aquifère constitué de deux couches principales, respectivement formées de sables grossiers de 90 m d'épaisseur et de sables fins à moyen de 80 m d'épaisseur (KOUASSI *et al.*, 2014). Avec une recharge estimée à 324 mm an⁻¹ en 2006, les transmissivités et perméabilités calculées de la nappe du continental terminal, varient respectivement de $2,77.10^{-2}$ à $3,37.10^{-1}$ m² s⁻¹ et de $1,1.10^{-3}$ à $1,2.10^{-2}$ m s⁻¹ (KOUASSI *et al.*, 2014). Malheureusement, cette nappe du continental terminal fait face à une baisse de son volume due à la surexploitation et à une diminution des infiltrations causée par la réduction des précipitations et la dégradation du couvert végétal (TRAORE *et al.*, 2014). De plus, les rejets industriels et les installations anarchiques des populations menacent la qualité chimique de cette ressource poussant les gestionnaires à abandonner des forages d'eau potable (SORO *et al.*, 2010). A l'opposée, la demande en eau potable ne cesse d'augmenter du fait de la croissance démographique. Cette situation fait peser, sur les populations de ce pôle économique, d'énormes problèmes d'accès à l'eau potable caractérisés par un déficit estimé à plus de 58 Mm³ par an (KOFFI *et al.*, 2018). Pour combler ce déficit, la lagune Aghien, de par sa position géographique et le volume important de ses tributaires continentaux assurant le renouvellement de ses eaux a été choisie (KOFFI *et al.*, 2014). Cependant, l'analyse des données hydro-climatiques plus récentes a mis en évidence, une persistance, dans le bassin versant de cette lagune (KOFFI *et al.*, 2019), de la diminution des hauteurs pluviométriques survenue à la fin des années 1970 (AMOUSSOU *et al.*, 2012 ; KOFFI *et al.*, 2023) dans la zone ouest-africaine. A cela s'ajoute le pompage prévu de 250 000 m³/jour (soit environ 11 400 m³/h) de la rivière côtière Mé, plus important tributaire continental de cette lagune en marée haute. Ces pressions pourraient entraîner une modification de la dynamique des masses d'eau de cette lagune. Ainsi, pour une exploitation efficiente et durable de cet écosystème lagunaire, une modélisation hydrodynamique permettrait d'évaluer l'impact de ces pressions sur la dynamique des masses d'eau de cette lagune.

2. Matériel et méthodes

2.1 Zone d'étude

La zone d'étude est constituée de la cuvette de la lagune Aghien, longue d'environ 11 km et du chenal naturel qui relie cette lagune à la lagune Potou en aval. Elle se situe au sud-est de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 3°48'30''W et 3°55'30''W et les latitudes

5°21'30''N et 5°27'00''N (Figure 1). La lagune Aghien est alimentée de façon permanente par les apports des rivières Djibi et Bété auxquels s'ajoutent les eaux de la rivière Mé et l'onde de la marée dynamique en marée haute (KOFFI *et al.*, 2019).

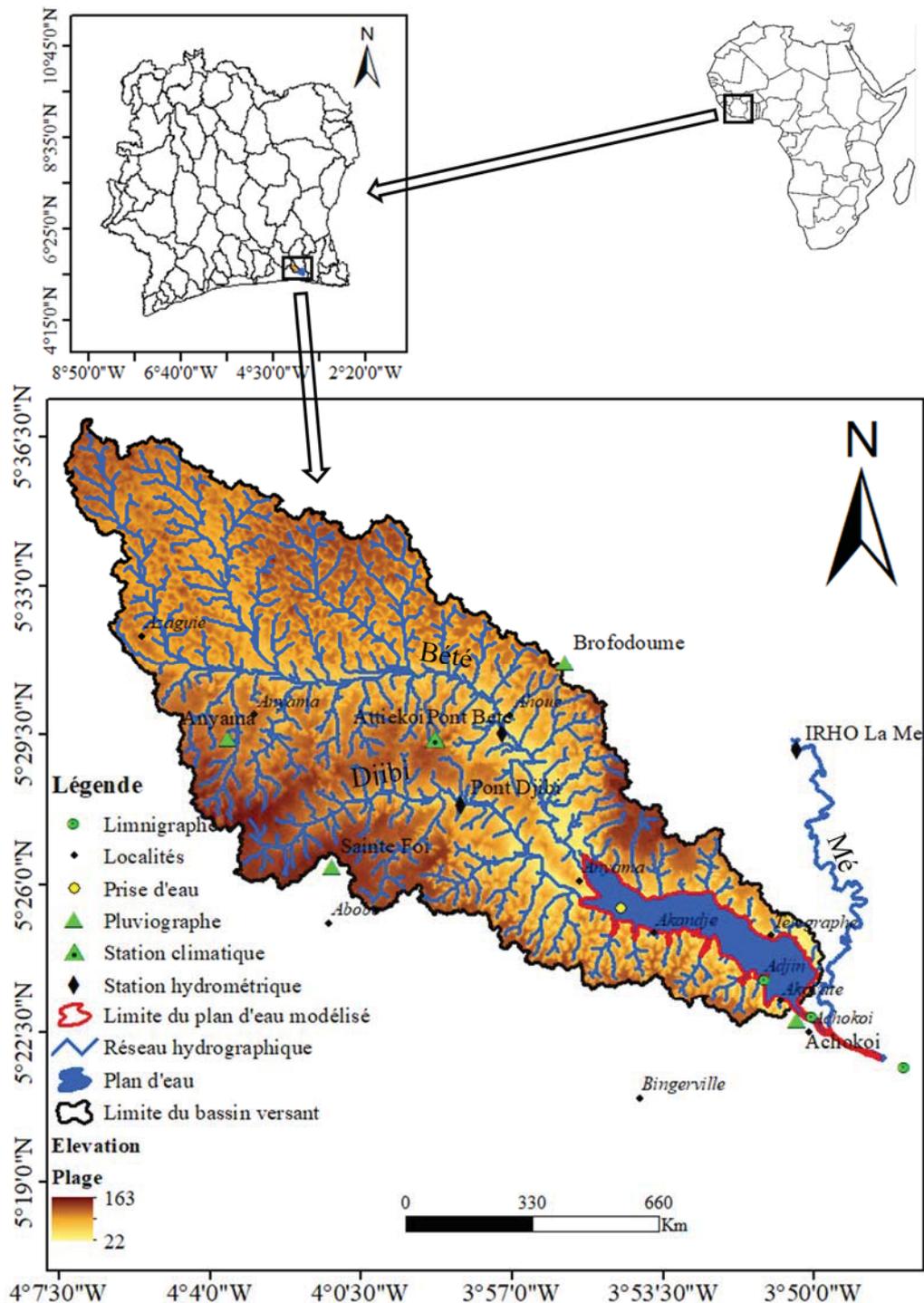


Figure 1. Zone d'étude.

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

2.2 Méthodes

2.2.1 *Acquisition des données*

Plusieurs données ont été utilisées pour la réalisation de cet exercice. Il s'agit d'abord des données hydrométriques enregistrées par les stations hydrométriques de IRHO La Mé, Bété pont et Djibi pont fournies par l'Université Nangui Abrogoua. Les données de précipitations, de vitesse et direction du vent ont aussi été utilisées. Ces données sont enregistrées par les stations climatiques de HIRO La Mé et de Sainte Foi CET ainsi que les stations pluviométriques de la Djibi et de la Bété. Elles ont été fournies par la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) de Côte d'Ivoire. Enfin, les données de niveau d'eau dans les lagunes Potou et Aghien et le chenal naturel reliant ces deux lagunes ont également fait l'objet d'utilisation. Ces derniers enregistrés par les limnigraphes ont été fournis par la direction de l'Institut de Recherche et Développement (IRD) de l'Université Nanguy Abrogoua. Toutes ces données utilisées couvrent la période avril-septembre 2021. Pour la représentation de la morphologie du fond de la lagune, un sondage bathymétrique a été effectué à l'aide d'un échosondeur de type Humminbird Helit 7, suivant un maillage densifié.

2.2.2 *Modélisation hydrodynamique*

Pour cet exercice, le module hydrodynamique HD du modèle Mike 21 Flow Model FM qui résout les équations de Saint-Venant par la méthode des volumes finis sur des mailles structurées (DHI, 2021) est utilisé. Un maillage triangulaire de 100 m² a été adopté. Le paramétrage a consisté à calibrer et valider le modèle hydrodynamique sur des périodes différentes (sèche et humide) afin de s'assurer de sa capacité à reproduire assez fidèlement les observations faites sur le terrain. Pour cela, conditions aux limites amont ont porté sur les débits des rivières Djibi, Bété et Mé alors la condition aux limites aval a porté sur les niveaux d'eau à Potou. Un niveau d'eau de -1 m est défini comme condition initiale afin de mieux apprécier le remplissage de la lagune. La prise en compte des effets de changement est traduit par une baisse de 17% des apports des tributaires fluviaux de la lagune Aghien à l'horizon 2070 (N'DRI *et al.*, 2019). La qualité du paramétrage est vérifiée par les coefficients de corrélation et de détermination, le biais, le NSE (Nash Sutcliffe Efficiency) et la RMSE (Root Mean Square Error).

3. Résultats

3.1 Bathymétrie

Le chenal de connexion entre les lagunes Aghien et Potou présente des profondeurs très variables dont les maximales atteignent 17 m à la confluence de la rivière Mé (Figure 2).

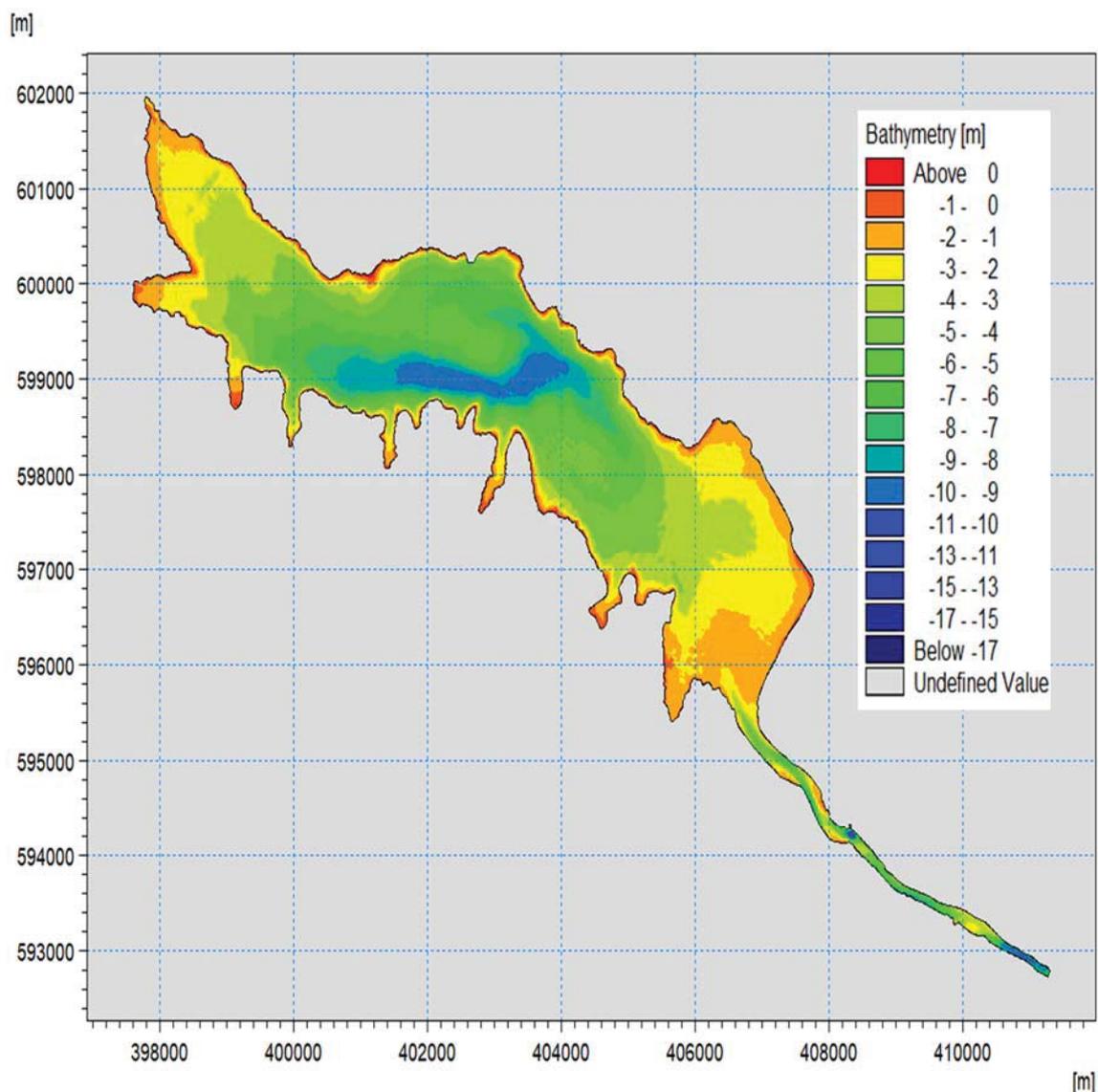


Figure 2. Bathymétrie de la lagune Aghien et du chenal.

Au niveau de la confluence de la Djibi et Bété, les profondeurs n'excèdent pas 4 m. dans la cuvette de la lagune Aghien, les profondeurs vont de 0,0 à -10,5 m.

3.2 Paramétrage

Le modèle a été calibré avec des coefficients de corrélation de détermination respectifs de 99,3% et de 98,6% soit seulement 1,4% de données mal reproduites par le modèle (Figure 3a). A la validation la proportion des observations mal reproduites atteint 2,7% (Figure 3b). Les erreurs quadratiques moyennes obtenues lors de la calibration et de la validation sont respectivement de 1,62 cm et 2,6 cm pour des biais estimés à 0,4 cm lors de la calibration et à -1,9 cm au cours de la validation (Figure 3).

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

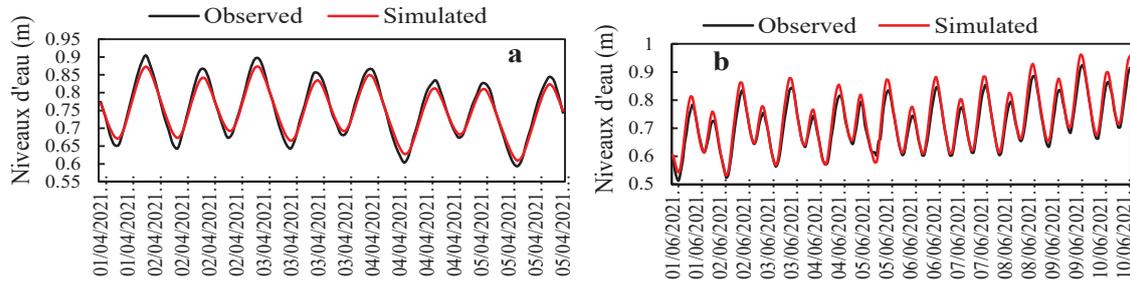


Figure 3. Critère graphique de performance : a) Calibration ; b) la Validation.

3.3 Impact des pressions sur la dynamique des masses d'eau

Les pressions considérées sont les pompages et les effets des changements climatiques sur les apports des tributaires continentaux de la lagune Aghien.

3.3.1 Impact des pompages

De l'observation graphique, aucune différence n'existe entre les niveaux d'eau avant et pendant l'exploitation de la lagune (Figure 4). Ainsi, l'exploitation couplée de la rivière côtière Mé et de la lagune Aghien n'a pas d'impact significatif sur le fonctionnement hydrodynamique de la lagune Aghien.

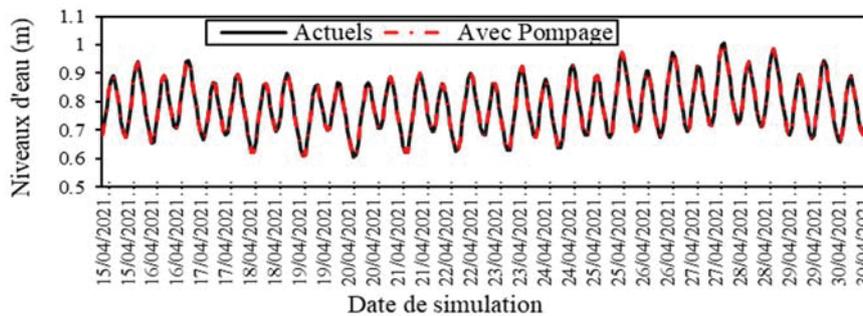


Figure 4. Niveaux avant et pendant l'exploitation de la lagune Aghien.

Bien que l'impact ne soit pas visible graphiquement, les écarts entre les niveaux d'eau avant et pendant l'exploitation se situent entre 0,38 mm et 2,15 mm. L'exploitation entrainerait une baisse moyenne du niveau de l'eau de $1,21 \pm 0,46$ mm (Figure 5).

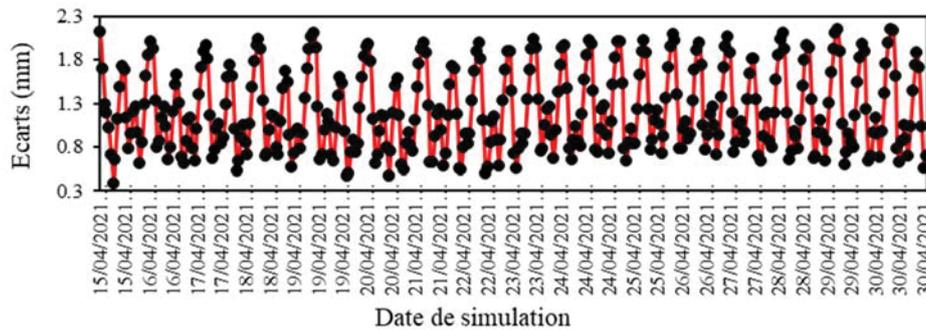


Figure 5. Ecart entre les niveaux avant et pendant l'exploitation de la lagune Aghien.

3.3.2 Impact des changements climatiques

La représentation graphique des niveaux d'eau donne une superposition des niveaux d'eau sans et avec baisse des apports des tributaires (Figure 6). Ainsi, l'impact de la baisse des apports serait peu perceptible sur la lagune Aghien.

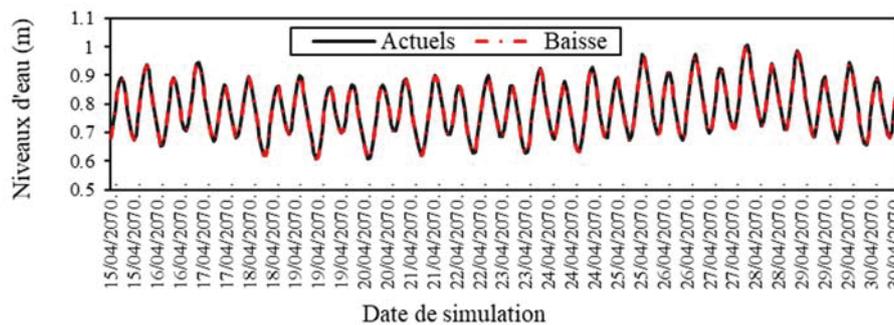


Figure 6. Niveau d'eau avec et sans baisse des apports des tributaires.

Cependant, bien que l'impact des changements climatiques sur la dynamique des écoulements de la lagune Aghien ne soit visible graphiquement, des écarts existent et se situent entre 0,79 mm et 6,68 mm avec une moyenne de $2,81 \pm 1,30$ mm (Figure 7).

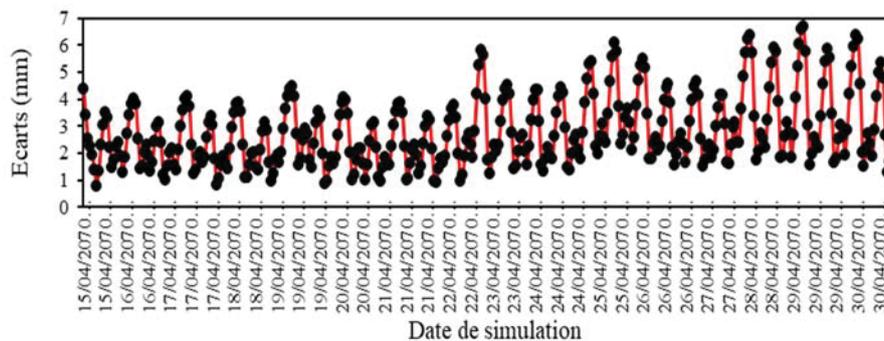


Figure 7. Ecart dus aux effets des changements climatiques.

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

4. Discussion

La lagune Aghien est peu profonde, sa profondeur variant de 0 à 10,5 m a été divisée par BRLi (2015) en deux zones morphologiques à savoir une zone centrale avec des profondeurs allant de 5 à 10.5 m et une zone périphérique peu profonde (< 5m). Dans le chenal, les profondeurs atteignent 17 m à la confluence de la Mé et 8 m ailleurs. La présence de fonds bas à la confluence pourrait être due à l'action d'une forte turbulence engendrée par les courants opposés. En effet, à cet endroit, les apports de la Mé rencontrent les masses d'eau en provenance de la lagune Potou en aval ou Aghien en amont (GOE *et al.*, 2023). Ce contact des deux masses d'eau de directions différentes engendre une turbulence provoquerait l'érosion des fonds et la remise en suspension des particules arrachées.

Le paramétrage du modèle hydrodynamique a été effectué avec un coefficient de rugosité de Strickler de 35 m^{1/3}/s. Ce coefficient est proche de 32 m^{1/3}/s utilisé par KOUASSI *et al.* (2013) pour la validation du modèle hydrodynamique du lac Taabo dont le fond est recouvert de vases. En période d'étiage, les observations sont sous-estimées et surestimées en période de crue ce qui serait due la recharge ou la décharge des nappes souterraines. Selon OUATTARA *et al.* (2020), les nappes souterraines alimentent les retenues selon que leur niveau soit en dessous ou au-dessus du niveau piézométrique de celles-ci. Ainsi, la non prise en compte de ces apports ou pertes pourrait expliquer les écarts. Ces écarts peuvent également s'expliquer par les variations spatiales de la rugosité du fond lagunaire (WANGO *et al.*, 2011). En effet, le fond de la zone modélisée contient des sédiments de sable et de vases de rugosité différente. Le choix d'un coefficient de rugosité uniforme dans tout le domaine pourrait donc être à l'origine des écarts entre les niveaux d'observés et simulés.

La simulation de la dynamique des masses d'eau a montré que les pompages feraient baisser le niveau global de la lagune d'au plus 2,15 mm. Cependant, avec la baisse des apports des tributaires, l'écart pourrait atteindre 6,68 mm. La faible influence des activités de pompage et de la baisse des apports fluviaux sur la dynamique de la lagune Aghien serait d'une part due au fait que les volumes pompés ne représentent qu'une infime partie des apports de ces deux sources d'eau. En effet, les pompages dans la rivière Mé et la lagune Aghien ne représenterait que 1,8 à 44% de Mé et 6,3 à 36,7% des apports cumulés de la Djibi et de la Bété par seconde qui sont compensés par les remontées marines.

5. Conclusions

La simulation de la dynamique des masses d'eau de la lagune a révélé que l'exploitation entrainerait une baisse du niveau de l'eau allant de 0,38 mm à 2,15 mm avec une moyenne de 1,21 ± 0,46 mm. Associée à une réduction des apports des tributaires à l'horizon 2070, la baisse pourrait varier de 0,79 mm à 6,68 mm avec une moyenne de 2,81 ± 1,30 mm. Ainsi, Bien que la lagune soit soumise à ces pressions, son fonctionnement hydrodynamique serait très peu influencé.

6. Références bibliographiques

- AMOUSSOU E., CAMBERLIN P., MAHÉ G. (2012). *Impact of climatic variability and the Nangbeto Dam on the hydrology of the Mono-Couffo system (West Africa)*, Hydrological Sciences Journal, 57(4), pp. 805–817. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.643799>
- BRLi. (2015). *Etude de la protection du bassin versant de la lagune Aghien. Phases 1 et 2–Caractérisation du bassin versant et des risques de pollution*, 190 p.
- DHI-DANISH HYDRAULIC INSTITUT (2021). *Hydrodynamic and transport module*. Scientific documentation, 59 p.
- GOE B.S., BROU L. A., KOFFI E.S., AKAHOUA B.D., DAO H., KAMAGATE B., KOUASSI K.L. (2023). *Caractérisation des paramètres hydrodynamiques de la lagune Aghien (Sud-Est de la Côte d’Ivoire)*. International Journal of Innovation and Scientific Research, 69(1), pp. 129–142. <https://issr-journals.org/xplore/ijisr/0069/001/IJISR-23-211-02.pdf>
- KOFFI B., BROU L.A., KOUADIO K.J.O., EBODE V.B., N’GUESSAN K.J.-Y., YANGOULIBA G.I., KONATE Y., DIBI B., KOUAKOU L.K. (2023). *Impact of climate and land use/land cover change on Lobo reservoir inflow, West-Central of Cote d’Ivoire*. Journal of Hydrology: Regional Studies, 47(24), pp. 2–24. <http://10.1016/j.ejrh.2023.101417>
- KOFFI E.S., DAO A., NOUFE D.D., KAMAGATE B., KOFFI K.J.T., DIALLO S., GONE D.L. (2018). *Bilan des apports liquides des rivières Bété et Djibi a la lagune Aghien (Côte d’Ivoire)*. American Journal of Innovative Research and Applied Sciences, 6(1), pp. 86–99. <https://american-jiras.com/Serge-ManuscriptRef.1-ajira170118.pdf>
- KOFFI E.S., KOFFI T.K., PERRIN J.L., SÉGUI S., GUILLIOD M., GONÉ D.L., KAMAGATÉ B., (2019). *Hydrological and water quality assessment of the Aghien Lagoon hydrosystem (Abidjan, Côte d’Ivoire)*. Hydrological. Sciences Journal, 64(15), pp. 1893–1908. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1672875>
- KOFFI K J.P., N’GO Y.A., YEO K.M., KONÉ D., SAVANE I. (2014). *Détermination des périmètres de protection de la lagune Aghien par le calcul du temps de transfert de l’eau jusqu’ à la lagune*, Larhyss Journal, 2(19), pp. 19–35. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/55130>
- KOUASSI K.A., KOUASSI W.F., MANGOUA O.M.J., SAVANE I. (2014). *Modèle conceptuel de l’aquifère du Continental Terminal d’Abidjan*. Hydrology in a Changing World: Environmental and Human Dimensions Proceedings of FRIEND-Water 2014, Montpellier, France, October 2014 (IAHS Publ. 363, 2014), pp. 256-262. <https://iahs.info/uploads/dms/16600.47-256-262-363-53-Paper-152-Auguste-KOUASSI.pdf>
- KOUASSI K.L., KOUAMÉ K.I., KONAN K.S., SANCHEZ ANGULO M., DEMÉ M., MÉLÈDJE N.H. (2013). *Two-dimensional numerical simulation of the hydro-sedimentary phenomena in Lake Taabo, Côte d’Ivoire*. Water Resources Management, 27(12), pp. 4379–4394. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-013-0417-x>
- N’DRI W.K.C., PISTRE S., JOURDA J.P., KOUAME K.J. (2019). *Estimation of the Impact of Climate Change on Water Resources Using a Deterministic Distributed*

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

- Hydrological Model in Côte d'Ivoire : Case of the Aghien Lagoon.* Journal of Geoscience and Environment Protection, 7(7), pp. 74–91. <https://doi.org/10.4236/gep.2019.77007>
- OUATTARA G.S., DIBI B., KONAN-WAIDHET A.B., MANGOUA J.M.O., KAMAGATE B. (2020). *Study of groundwater-river interactions using hydrochemical tracers in fissured rock: Case of the Lobo watershed at Nibéhibé (Central-West, Côte d'Ivoire).* International Journal of Environment and Climate Change, 10(12), pp. 55-66. doi: 10.9734/ijecc/2020/v10i1230284
- SORO N., OUATTARA L., DONGO K., KOUADIO E.K., AHOUSSE E.K., SORO G., OGA M.S., SAVANE I., BIEMI J. (2010). *Déchets municipaux dans le district d'Abidjan en Côte d'Ivoire: sources potentielles de pollution des eaux souterraines,* International Journal of Biology and Chemical Sciences, 4(6), pp. 2203–2219. doi:10.4314/ijbcs.v4i6.64952
- TRAORE A., SORO G., AHOUSSE K.E., BAMBA B.S., SORO N., BIEMI J. (2014). *Niveau de contamination en métaux lourds des sédiments d'une lagune tropicale: la lagune Aghien (Sud-Est de la Côte d'Ivoire),* Afrique Science, 10(3), pp. 73–88.
- UNESCO (2021). *La valeur de l'eau.* Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau, 226 p.
- UNESCO (2022). *Eaux souterraines, Rendre visible l'invisible.* Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau, 12 p.
- WANGO T.E., MOUSSA M., ADOPO K.L., MONDE S. (2011). *Calage du modèle hydrodynamique à 2D du complexe lagunaire de Côte d'Ivoire.* Geoscience Economie Tropicale, 35, pp. 23–32.