



## **DETERMINATION DES PERIMETRES DE PROTECTION DE LA LAGUNE AGHIEN PAR LE CALCUL DU TEMPS DE TRANSFERT DE L'EAU JUSQU'A LA LAGUNE**

**KOFFI KONAN J.P.<sup>1\*</sup>, N'GO YAO A.<sup>1</sup>, YEO KANDANA M.<sup>1</sup>, KONÉ D.<sup>2</sup>,  
SAVANÉ I.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratoire de géosciences et environnement de l'Université Nangui Abrogoua,  
Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Office National de l'Eau Potable (ONEP), Direction des Ressources en Eau,  
Côte d'Ivoire

\*jipikok@yahoo.fr

### **RÉSUMÉ**

La capacité d'exploitation de la nappe d'Abidjan est devenue insuffisante. Le déficit en ressource en eau potable au niveau du District d'Abidjan reste la préoccupation majeure du décideur. La lagune Aghien se présente comme l'une des alternatives les plus intéressantes. Cependant, les études montrent des niveaux de pollution de cette ressource sans éclairage sur les causes et sources de ces pollutions. La présente étude qui s'étend à l'ensemble du bassin d'alimentation de la lagune révèle la présence de zones urbaines et de zones d'activité agricole sur le bassin d'alimentation. Cela suscite de réelles inquiétudes pour les autorités ivoiriennes. Cette étude s'est proposée de faire une analyse hydrologique à partir du MNT du bassin versant d'alimentation en vue de la délimitation des aires de protection de la lagune. La démarche adoptée a permis de montrer une connexion entre la lagune et les rejets d'eaux usées des zones urbaines. Les temps de transfert des eaux usées domestiques jusqu'à la lagune sont compris entre 25,9 heures (soit 1 jour) et 45,54 heures (soit 2 jours). Trois périmètres de protection (immédiat, rapproché et éloigné) de cette lagune ont été proposés. La valorisation de ces périmètres de protection implique de meilleures pratiques culturales et domestiques à l'intérieur du bassin versant contre l'érosion et les pollutions diffuses.

**Mots-clés :** MNT, Temps de transfert, Périmètres de protection, Qualité de l'eau, SIG, Bassin hydrologique, Lagune Aghien, Abidjan

## **ABSTRACT**

The operating capacity of the Abidjan ply became insufficient. The deficit in drinking water resources in the District of Abidjan remains the major concern of the decision maker. The Aghien lagoon stands as one of the most interesting alternatives. However, studies show the levels of pollutions of this resource without lighting on the causes and sources of these pollutions. The present study extends over the entire catchment of the lagoon reveals the presence of urban areas and agricultural activity areas in the catchment. This raises real concerns for the Ivorian authorities. This study aims to make a hydrological analysis from the DEM of the supply catchment for the delineation of protected areas of the lagoon. The approach has shown a connection between the lagoon and wastewater discharges from urban areas. Transfer times of domestic wastewater in the lagoon are between 25.9 hours (1 day) and 45.54 hours (2 days). Three protective perimeters (immediate, near and far) of this lagoon have been proposed. The implementation of these protection areas involves better farming and domestic practices within catchment to fight against erosion and pollution for the preservation of this resource.

**Keywords :** DEM, Travel time, protective perimeters, Water quality, GIS, Watershed, Aghien lagoon, Côte-d'Ivoire

## **INTRODUCTION**

La ville d'Abidjan est actuellement alimentée en eau potable exclusivement à partir des eaux souterraines de la nappe du Continental Terminal appelée « Nappe d'Abidjan ». Cette ressource devient de plus en plus insuffisante à cause de la pression démographique. Elle est en outre, sous la menace d'une contamination par des sources de pollution organique et chimique (Traoré et al., 2006, Jourda et al., 2006; Ahoussi et al., 2008; Kouamé et al., 2009 ; Kouadio, 2009). Le recours à d'autres sources pour répondre aux besoins pressants en eau de la ville d'Abidjan est la priorité actuelle des décideurs. Les sources telles que les eaux de surface du lac Bakré, de la lagune Aghien et du fleuve Comoé et les eaux souterraines de la nappe du Continental Terminal de Bonoua ont été identifiées à cet effet.

La lagune Aghien, objet de cette étude, présente sur son bassin d'alimentation des zones urbaines et des zones d'activité agricole qui pourraient nuire à la qualité de l'eau de cette ressource. En effet, Scheren et al. (2004), Macary et al. (2006), Belghiti et al. (2014), N'Guessan et al. (2011) et EL Ouali et al., (2010) ont montré que toute activité menée ou exercée sur le bassin versant influence d'une manière ou d'une autre les ressources en eau de surface.

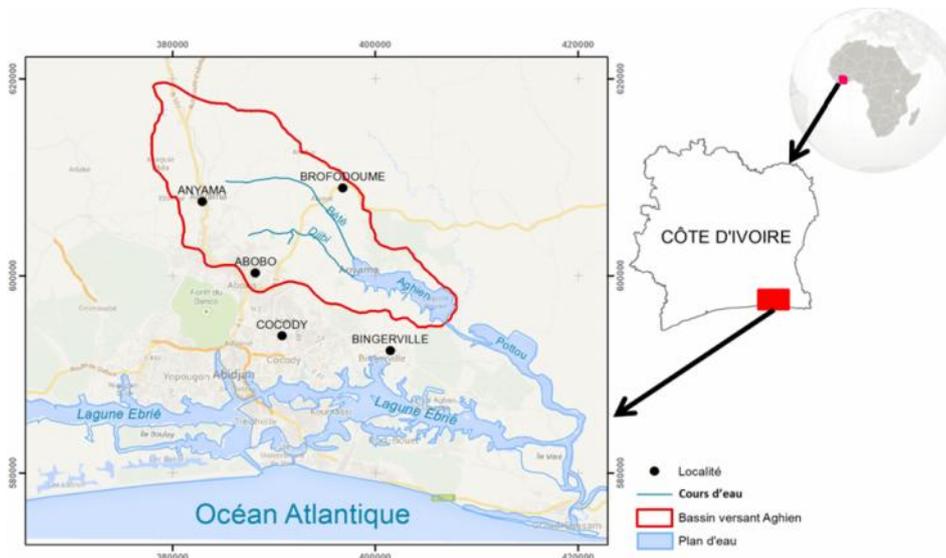
L'objectif de cette étude est de proposer à travers une étude morpho-hydrologique des périmètres de protection de cette lagune à l'intérieur desquels

*Détermination des périmètres de protection de la lagune Aghien par le calcul du temps de transfert de l'eau jusqu'à la lagune*

de meilleures pratiques culturales et domestiques seraient obligatoires pour lutter contre l'érosion et les pollutions.

## PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude est le bassin versant d'alimentation de lagune Aghien. Le contour de ce bassin versant a été délimité dans une interface de SIG à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT). Il est situé au Sud de la Côte d'Ivoire, dans le District d'Abidjan entre les coordonnées 378000 et 408000 m Est et les coordonnées 595000 et 620000 m Nord (UTM 30). Elle couvre une superficie de 361 Km<sup>2</sup> et un périmètre de 92,8 km pour un indice de compacité  $K_c=1,37$  (forme allongée). Il renferme une partie de la ville d'Abidjan, de la commune de Bingerville et d'Anyama. La lagune Aghien a une superficie de 20 km<sup>2</sup> pour un périmètre de 40,72 km et un volume estimé à 25km<sup>3</sup>. Elle fait partie du réseau lagunaire d'Abidjan. Elle est alimentée par deux affluents principaux que sont la Djibi et le Bété (figure 1).



**Figure 1:** Bassin versant de la lagune Aghien

## **MATÉRIEL ET MÉTHODE**

### **Matériel/Données**

#### *Données*

Le contact entre la lagune et l'ensemble du bassin se fait par des phénomènes hydrologiques de surface dépendant de la morphologie du paysage (S. Rosi *et al.*, 2009). La donnée principale de cette étude est le MNT global de la Côte d'Ivoire de résolution 90 m. A cette donnée s'ajoutent l'image Quickbird de résolution 0.6 m datant du 30/09/2009 et la carte d'occupation du sol du 09/08/2010 au 1/200000 fournies par le Centre de Cartographie et de Télédétection (CCT) du Bureau National d'Études Techniques et de Développement (BNETD) de Côte d'Ivoire. L'image Google Earth datant du 10 avril 2013 couvrant la zone d'étude a permis d'actualiser l'occupation du sol.

#### *Matériel*

Ces données ont été traitées avec la version 6.4.3svn du logiciel GRASS (Geographical Resources Analysis Support System (<http://grass.itc.it>), et ArcGis 10 de ESRI pour la cartographie. En effet, GRASS dispose d'outils pour l'analyse du réseau de drainage de bassin versant (Asiewicz *et al.*, 2011).

### **Méthodologie**

L'outil d'aide à la décision a été construit dans le SIG Grass avec une résolution matricielle de 90 m. Les modules de Grass ont été utilisés pour l'analyse hydrologique du bassin versant basée sur le MNT corrigé. Certains traitements spécifiques tels que l'occupation du sol ont été faits à l'aide de ArcGis 10. La délimitation du périmètre de protection de cette ressource se fonde sur le temps de transfert de l'eau vers la lagune. Ce temps de transfert est calculé à travers l'outil d'analyse hydrologique, du bassin versant d'influence selon la méthode développé par Margherita (2010).

### **L'analyse hydrologique**

L'analyse du paysage consiste ici en une analyse hydrologique à base topographique des altitudes (z) affectées à chaque pixel de coordonnée x, y du bassin versant de la lagune Aghien. Selon P. Michel, (2010), les SIG offrent une meilleure approche. Les commandes telles que *r.filldir* qui permettent de remplir les dépressions anormales du MNT brut et de créer un MNT sans

Détermination des périmètres de protection de la lagune Aghien par le calcul du temps de transfert de l'eau jusqu'à la lagune

dépression avec un seul exutoire. La commande *r.watershed* a permis de créer la carte des directions d'écoulement et la carte d'accumulation du flux. Le module *r.traveltime* de Grass (Kristian Förster (2007)) exécute les équations ci-dessous pour calculer le temps de transfert de l'eau jusqu'à la lagune (Figure 3).

$$t_c = \frac{L^{0,6} n^{0,6}}{i_e^{0,4} S^{0,3}} \quad (1)$$

$$t_c = L \left[ \frac{\sqrt{S}}{n} (Q / B)^{2/3} \right]^{-3/5} \quad (2)$$

$$Q = f i_e A \quad (3)$$

Avec :

$T_c$  = temps de transfert (heure),

$n$  = Coefficient de rugosité de Manning

$L$  = Longueur du flux jusqu'à la lagune

$i_e$  = l'excès de précipitation

$S$  = Pente du terrain (de la ligne du flux)

$Q$  = Décharge d'équilibre

$B$  = Largeur du chenal d'écoulement

$A$  = Surface contributive

$f$  = facteur de réduction

La méthodologie de détermination du temps de transfert est présentée dans le diagramme ci-dessous :

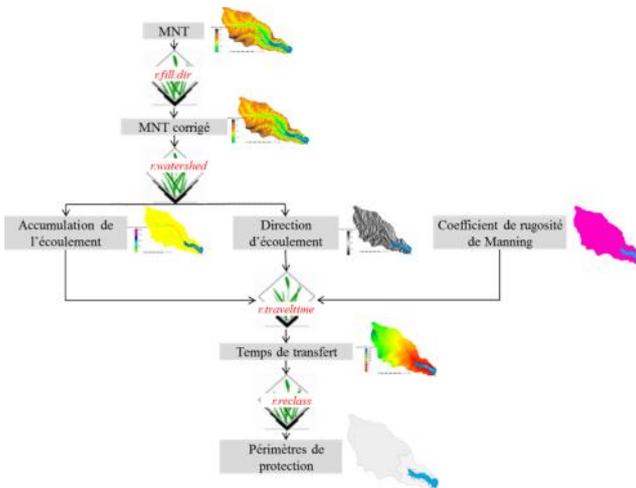


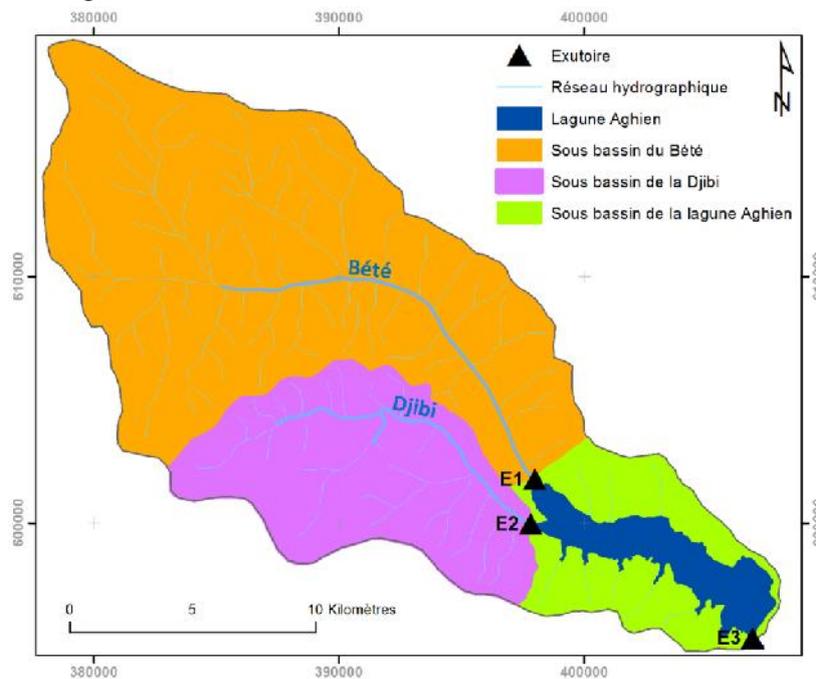
Figure 2 : Méthodologie de détermination du temps de transfert et des périmètres de protection

La suite des paramètres d'entrée pour l'exécution de *r.traveltime* sont résumés dans le tableau 1 ci-dessous.

**Tableau 1** : les paramètres d'entrés de la commande *r.traveltime*

Le coefficient de rugosité	0.2
Les coordonnées (x/y) des exutoires des sous-bassins versant	Bété : 397878.46/601814.48 Djibi : 397740.61/599829.44 Aghien : 407340.93/595121.11
Le nombre minimal de cellule qui entraîne un écoulement	10 cellules soit 0,085km <sup>2</sup>
Largeur du chenal	90 m
Coefficient de rugosité du chenal	0,01
Excès de précipitation	50 mm/h
Facteur de réduction	1

La lagune étant sous l'influence de trois sous bassins, il est difficile de définir un seul exutoire pour l'application de *r.traveltime*. Pour ce faire, le bassin versant de la lagune Aghien a été subdivisé en ces 3 sous-bassins (figure 3) avec des exutoires respectifs : E1 pour le sous bassin versant du Bété, E2 pour le sous bassin versant de la Djibi et E3 pour le sous bassin versant du plan d'eau lagunaire Aghien.



**Figure 3** : Découpage du bassin versant de la lagune Aghien en sous-bassins

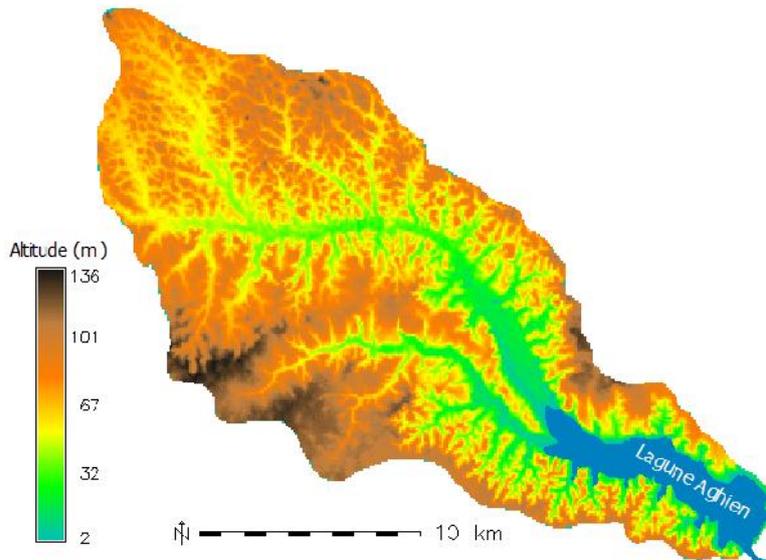
### ***Le périmètre de protection***

Les périmètres de protection sont prescrits par l'article 34 du Code de l'Eau de Côte d'Ivoire et son décret d'application n°2013-440 du 13 juin 2013 déterminant le régime juridique des périmètres de protection des ressources en eau, des aménagements et ouvrages hydrauliques. Cependant, la délimitation de ces périmètres nécessite une étude minutieuse du voisinage de la ressource. Le SIG est une solution informatisée pour la délimitation des périmètres de protection comme l'ont montré El Garouani et Merzouk (2006). Il permet une connaissance élargie et surtout « numérique » sur les ressources en eau et de leur protection. Cette étude propose une méthode basée sur le temps de transfert de l'eau jusqu'à la lagune Aghien. La délimitation des périmètres de protection (immédiat, rapproché et éloigné) de la lagune Aghien s'obtiennent à travers une classification de la carte des temps de transfert (traveltime < 1heure ; 1 heure < traveltime < 12 heures et traveltime > 12 heures).

## **RESULTAT**

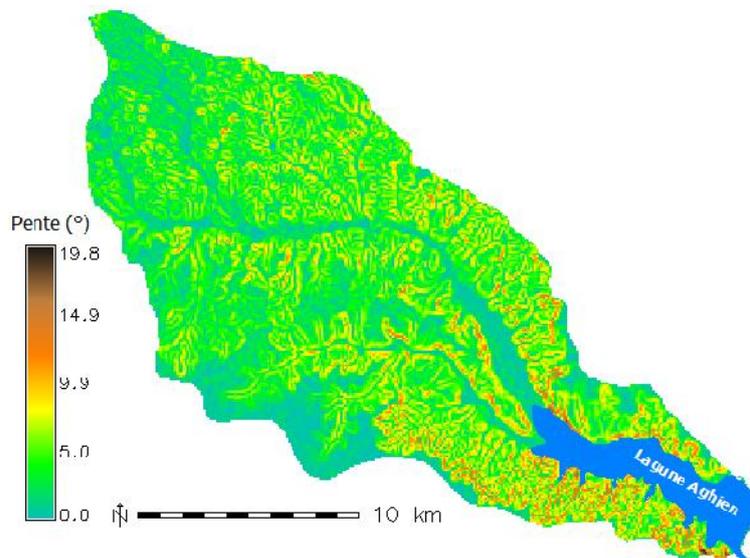
### **Analyse hydrologique du paysage**

L'application des outils d'analyse hydrologique sur la base du MNT corrigé (Figure 4) donne l'accumulation de flux, la pente, les longueurs de pente, les directions d'écoulement et le temps de transfert jusqu'à la lagune. Les altitudes varient entre 2 et 136 mètres. Les altitudes élevées se situent en amont de la Djibi couvertes par des zones urbaines (comme Abobo, une commune de la ville d'Abidjan). Les altitudes basses quant à elles se situent au niveau de la lagune Aghien et dans les dépressions des principaux affluents que sont le Bété et la Djibi.



**Figure 4 :** variation des altitudes sur le bassin d'influence de la lagune Aghien

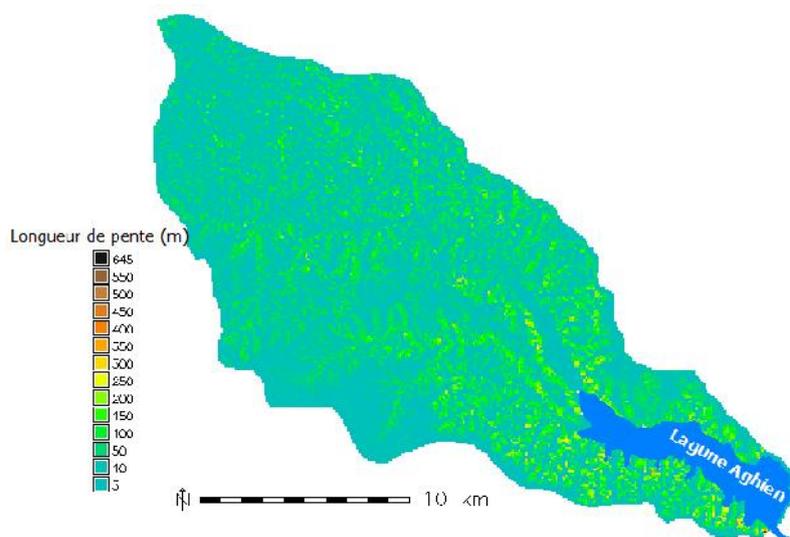
Les pentes calculées sont comprises entre 0 et 20° (figure 5) avec une moyenne de 4° et un écart type de 2,8°. Elles sont globalement faibles à moyennes. Les pentes faibles se situent dans les zones alluviales des principaux affluents, en amont du bassin versant et dans les zones urbaines en amont de la Djibi. Les pentes fortes se retrouvent dissimulées sur le bassin versant avec une forte accumulation vers la lagune.



**Figure 5 :** Carte des pentes du bassin d'influence de la lagune Aghien

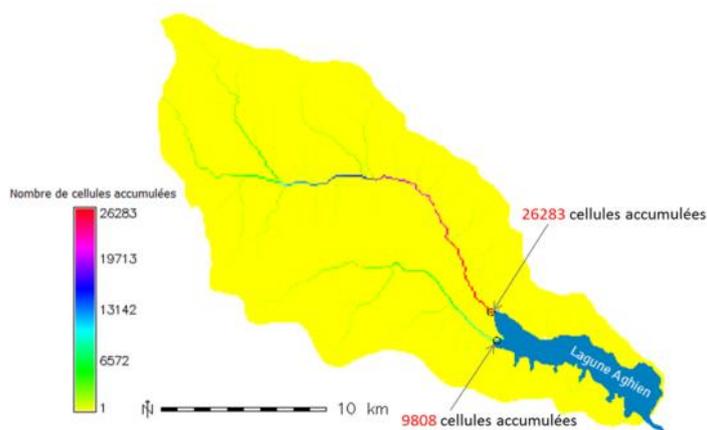
*Détermination des périmètres de protection de la lagune Aghien par le calcul du temps de transfert de l'eau jusqu'à la lagune*

Les longueurs de pente calculées sont à 91% inférieures à 100 m.



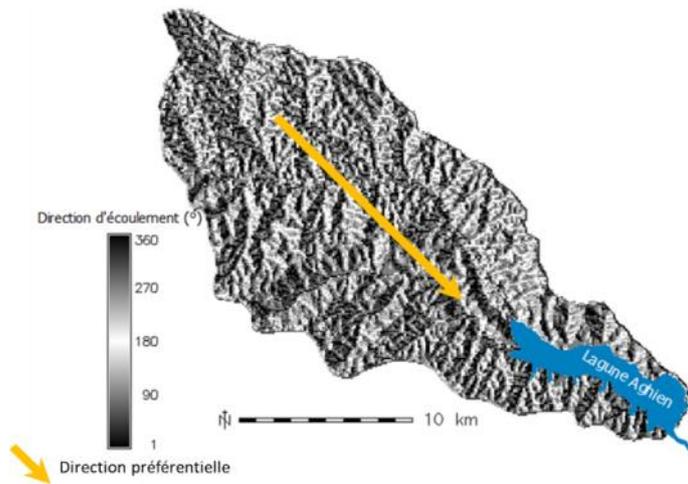
**Figure 6:** Carte des longueurs de pente du bassin versant

La carte d'accumulation du flux (figure 7) donne en tout point du bassin versant le nombre de pixels accumulés lors de l'écoulement de surface. D'après cette carte, les zones d'accumulation du flux s'apparentent très bien au réseau hydrographique sur le bassin versant. Elle montre que le Bété accumule 26283 cellules pour la lagune soit une surface contributive de 212,89 km<sup>2</sup> alors que la Djibi n'accumule que 9808 cellules soit une surface contributive de 79,45 km<sup>2</sup>.



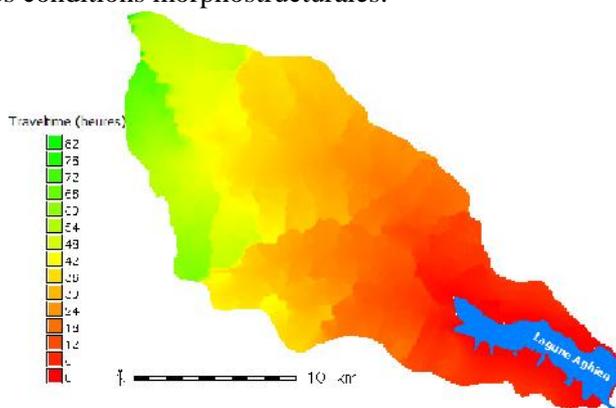
**Figure 7 :** Carte d'accumulation de flux

La carte des directions d'écoulement (figure 8) indique que l'écoulement sur le bassin versant de la lagune Aghien se fait préférentiellement dans le sens 315° soit dans la direction Nord-ouest → Sud-est.



**Figure 8 :** Carte des directions d'écoulement

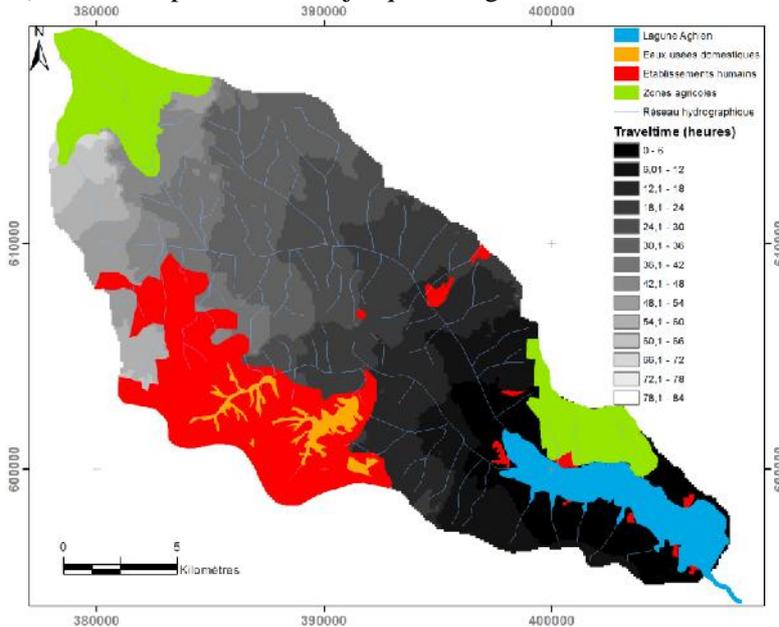
La carte des temps de transfert jusqu'à la lagune (figure 9) issue de la compilation des cartes ci-dessus (carte d'accumulation de flux, carte des directions d'écoulement, carte de rugosité de Manning) indique que le temps de transfert varie de 0 à 82 heures (3,4 jours). Ces temps de transfert de l'eau augmentent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la lagune mais pas de façon proportionnelle. Cela est dû au fait que le transfert de l'eau est un processus morpho-hydrologique. L'eau circule dans les dépressions du terrain sous l'influence des conditions morphostructurales.



**Figure 9 :** Carte des temps du transfert d'eau jusqu'à la lagune

*Détermination des périmètres de protection de la lagune Aghien par le calcul du temps de transfert de l'eau jusqu'à la lagune*

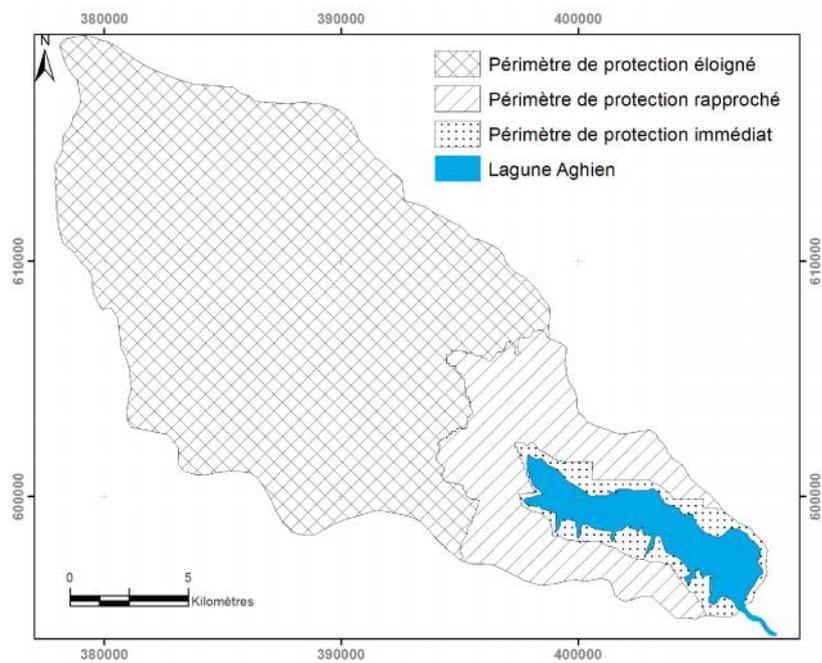
La carte des sources de pollution (figure 10) tirée de l'occupation du sol met en relief les sources potentielles de pollution. Elle est caractérisée par les zones urbaines, agricoles et les plans d'eaux usées. La superposition de la carte d'occupation du sol et celle du temps de transfert (figure 10) montre que les temps de transfert des eaux usées domestiques jusqu'à la lagune sont compris entre 25,9 heures (environ 1 jour) et 45,54 heures (environ 2 jours). Les polluants issus des zones agricoles à l'extrémité du bassin versant (en amont) pourraient atteindre la lagune en moins de 72 heures soit environ trois (3) jours. Tandis que ceux issus des zones agricoles à proximité de la lagune (au nord de la lagune) ont un temps de transfert jusqu'à la lagune de moins d'une heure.



**Figure 10 :** Carte des sources de pollution et des temps du transfert d'eau jusqu'à la lagune

**Les périmètres de protection**

La carte des périmètres de protection (figure 11) obtenus par la classification de la carte des temps de transfert permet de définir trois périmètres de protection dont un immédiat correspondant à un temps de transfert inférieur à une heure. Un rapproché correspondant à un temps de transfert compris entre une heure et 12 heures et un périmètre éloigné correspondant à un temps de transfert supérieur à 12 heures et couvrant le reste du bassin versant.



**Figure 11** : Les périmètres de protection

Le tableau 2 ci-dessous donne les prescriptions à respecter à l'intérieur de chaque périmètre pour garantir la sécurité de la lagune.

**Tableau 2 :** Prescriptions imposées à l'intérieur de chaque périmètre

Types de périmètre de protection	Prescriptions
Immédiat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interdire l'accès à la retenue par le biais de clôture,</li> <li>- Suivre toutes activités s'y déroulant, y compris le passage et l'abreuvement des troupeaux, pêche, lavage des véhicules, rejet de déchets solides et liquides, des séances particulières de pêches.</li> </ul>
Rapproché	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limiter l'érosion des sols (lutter contre le comblement de la retenue),</li> <li>- Mettre en place de meilleures pratiques culturales,</li> <li>- Limiter les pollutions diffuses (lutter contre l'eutrophisation),</li> <li>- Interdire l'épandage de fertilisants et pesticides,</li> <li>- Eviter le déversement de pollutions ponctuelles,</li> <li>- Créer des latrines améliorées dans les villages,</li> <li>- Interdire le rejet de substances polluantes, notamment les hydrocarbures, les huiles usagées ;</li> <li>- Interdire les canalisations souterraines transportant des eaux usées ou des substances polluantes (hydrocarbures notamment),</li> <li>- Interdire le transport de matière dangereuse</li> </ul>
Eloigné	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Créer des latrines publiques améliorées dans tous les villages inclus dans le périmètre de protection éloigné,</li> <li>- Mettre en place de meilleures pratiques culturales pour lutter contre l'érosion,</li> <li>- Respecter scrupuleusement la réglementation existante. Sensibiliser et informer les populations sur les risques domestiques et agricoles.</li> </ul>

## DISCUSSION

La recherche de ressources en eau additionnelles pour le besoin de la population de l'agglomération d'Abidjan est de plus en plus croissante. Cette étude menée sur le bassin d'influence de la lagune Aghien est une contribution à l'atteinte de cet objectif. L'étude à travers une analyse hydrologique vise à caractériser la vulnérabilité du bassin d'influence de la lagune Aghien en vue de proposer des périmètres de protection. Le bassin d'influence de la lagune Aghien est drainé par deux rivières (Djibi et Bété) qui prennent leur source dans des zones agricoles et urbaines. Les pentes généralement moyennes et de direction générale NW- SE, semblent favorables au ruissellement pluvial à cause notamment de la modification de l'occupation du sol. Ces eaux de ruissellement sont généralement les moteurs de propagation des polluants organiques et chimiques (N'go et al., 2004; Goné, 2009 et N'Guessan et al., 2014). Les eaux de ruissellement contiennent plusieurs types de polluants d'origines domestiques, industrielles, agricoles, urbaines, etc. Le déversement de ces polluants dans les eaux de surface constitue le point de départ de la pollution de ses eaux (N'Guessan et al., 2011). Les temps de transfert calculés montrent bien

que la lagune est vulnérable. En effet, la pollution perpétrée en amont du bassin versant mettrait moins de trois jours pour atteindre la lagune. Le temps de transfert minimal des zones urbaines jusqu'à la lagune est de 25,90 heures (1 jour). Certaines zones sont à moins d'une heure de transfert jusqu'à la lagune.

La délimitation de périmètres de protection à l'intérieur desquels de meilleures pratiques culturales et domestiques sont obligatoires a été choisie comme moyen de protection pour lutter contre l'érosion et la propagation des polluants. Certains périmètres de protection sont définis sur la base de distance par rapport à l'ouvrage ou la ressource à protéger (Achidi et al., 2010). D'autres par contre, sont réalisés en fonction de la distance hydrologique (longueur du trajet suivi par l'eau jusqu'à la ressource ou l'ouvrage à protéger) (Rousseau et al., 1997; Melesse et al., 2004). C'est l'approche utilisée par El Garouani et al., (2006) dans une étude menée sur la retenue du barrage de Hachef au Maroc. La combinaison des techniques de traitement d'image de télédétection et les SIG sont également utilisées pour cette délimitation. La délimitation du périmètre de protection suivant le temps de transfert est la méthode qui semble offrir plus de précision (Assefa, 2004). En effet, elle intègre la pente, la rugosité du terrain et l'intensité de la pluie qui est le moteur de l'écoulement. La carte du temps de transfert de l'eau jusqu'à la lagune issue de l'analyse hydrologique a permis la délimitation de périmètre de protection de celle-ci. Les temps de transfert calculés sur les bassins d'étude sont courts (3,4 jours au maximum).

La présence de villages en bordure de la lagune, à l'intérieur du périmètre de protection immédiat, augmente la difficulté de mettre en œuvre ce périmètre. Ces villages communiquent directement avec la lagune et y déversent les déchets. Le périmètre de protection rapproché correspondant au temps de transfert de 12 heures devrait offrir un délai de réaction vis-à-vis de l'arrivée des polluants. Cependant, les conditions d'accès et la typologie de l'environnement immédiat de cette lagune ne favoriseraient pas une telle intervention. Une approche plutôt préventive devrait être adoptée pour limiter l'érosion des sols et les pollutions diffuses. Le périmètre de protection éloigné est assimilé à l'ensemble du bassin à l'intérieur duquel il faut de meilleures pratiques culturales et domestiques pour lutter contre l'érosion et les pollutions. Étant donné qu'un des paramètres de détermination du temps de transfert notamment la rugosité de Manning a été supposé constant (tableau I), le temps de transfert obtenu n'est pas absolu. Il permet cependant d'hierarchiser la vulnérabilité de la lagune et de définir les zones prioritaires en matière de protection de la lagune Aghien. Il faut en outre indiquer que le temps de transfert de l'eau jusqu'à la lagune n'est pas toujours assimilable au temps de transfert du polluant. En effet, certaines molécules polluantes à coefficient d'adsorption élevé s'accrochent à des particules de terre. Leur mobilité étant dans ces conditions liées à la mobilité des particules de terre, un modèle de transfert de sédiment (perte de sol) est indispensable avec comme donnée de base le MNT (Mitasova et Mitas, 2001). Les études de Taghavi et al., (2008) ont montré que le transfert de polluant est accentué pendant les événements de

crue. Malheureusement, l'on ne peut pas agir sur ce facteur naturel. Il en est de même pour la morphologie. Le seul critère sur lequel l'on peut intervenir est la pression anthropique.

## **CONCLUSION**

Cette étude met en évidence l'utilité des SIG dans la gestion des ressources en eau. Elle a permis de calculer le temps de transfert de polluants jusqu'à la lagune. Ce temps est court (moins de 3 jours). Si rien n'est fait, la lagune risque d'être polluée. Elle a ensuite permis de délimiter les périmètres de protection de la lagune Aghien. L'efficacité de ces périmètres implique de meilleures pratiques culturelles et domestiques à l'intérieur du bassin versant pour lutter contre l'érosion et les pollutions. Au niveau des zones agricoles, il faut faire une sélection des produits phytosanitaires moins rémanents. L'on doit baisser considérablement le niveau de pression anthropique soit à travers les pratiques agricoles, soit à travers le mode de gestion des ordures et les eaux usées des ménages en provenance des zones urbaines. L'installation de station de traitement des eaux sur les affluents du Bété et la Djibi en provenance des zones urbaines de la lagune est nécessaire.

## **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- ACHIDI J.B., SINTONDI L. (2010).: Appui à la mise en place d'un dispositif de protection des zones de captages d'AEP par les communes - Etudes complémentaires sur les sites pilotes de Djougou et Porto-Novo, 30p.
- AHOUSSE K. E., SORO N., SORO G., LASM T., OGA M. S. and ZADE S., (2008) : Groundwater Pollution in Africans Biggest Towns: Case of the Town of Abidjan (Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, Vol. 20, n° 2, 302-316.
- ASSEFA M.M., WENDY D.G. (2004). Storm runoff prediction based on a spatially distributed travel time method utilizing remote sensing and GIS, *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, n° 02150, 863 -879
- BELGHITI L., CHAHLAOUI A., BENGOUMI D., EL MOUSTAINE R. (2014). Effect of anthropic activities on the quality of subsoil waters in rural medium in the area of Meknes (MOROCCO) *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°17, Mars 2014, 77-89
- EL GAROUANI A., MERZOUK A., (2006). Délimitation des zones de protection autour de la retenue du barrage Hachef (Maroc) par télédétection et SIG, *Revue des sciences de l'eau. Journal of Water Science*, Vol. 19, n° 1, 2006, 1-10.
- EL OUALI LALAMI A., MERZOUKI M., EL HILLALI O., MANIAR S., IBNSOUDA KORAICHI ., (2014) : Pollution des eaux de surface de la ville

- de Fes au Maroc : typologie, origine et conséquences, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 09, Septembre 2010, 55-72
- GONE D.L., GAMAGATE B., LIGBAN R., SAVANE I., BIEMI J. (2009). Characterisation of dissolved organic matter at different stages of a tropical surface water treatment using fluorescence spectroscopy (Agboville, Côte d'Ivoire), *Journal of Water and Environment Technology*, Vol. 8, issue 1, 17-28
- JOURDA J.P., KOUAMÉ K. J., SALAY M.B., KOUADIO B.H., OGA Y.S., DEH S. (2006). Contamination of the Abidjan Aquifer by sewage: An assessment of extent and strategies for protection. *Groundwater pollution in Africa*, Editors Yongxin Xu and Brent Usher, Taylor and Francis/Balkema, Great-Britain, 291-300.
- KOUADIO D.L., TRAORE K.S., BEKRO Y.A., MAMBO V., ARDJOUA D., MAMADOU K., MAZELLIER P., LEGUBE B., HOUENOU P. (2009). Contamination des Eaux de Surface par les Produits Pharmaceutiques en Zones Urbaines de Côte D'ivoire: Cas du District d'Abidjan. *European Journal of Scientific Research*, ISSN 1450-216X, Vol. 27, n°1, 140-151.
- KOUAMÉ K., JOURDA J.P, LEBLANC Y., DEH S., ANANI A., BIÉMI J. (2009). Implication of Hydrogeologic Modeling in the Estimate of Pollutants Transfer Time Towards Groundwater of Abidjan District: Case of Toxic Waste. *European Journal of Scientific Research*, Vol.32, No.1.
- KRISTIAN F. (2007). GRASS raster program "r.traveltime" (<http://jesbergwetter.twoday.net/stories/4845555/>)
- MACARY F., MAUD B., PUECH C., SAUDUBRAY F. (2007): Méthode d'estimation d'un risque potentiel spatialisé de la contamination des eaux de surface par les intrants agricoles à différentes échelles spatiales. Application sur les coteaux de Gascogne Colloque international de Géomatique et d'analyse spatiale, Clermont Ferrand, 18-19-20 juin 2007, <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00021862>, 19 p.
- MARGHERITA D.L. (2010). Extraction of morphometric parameters from a digital elevation model - Panama. North Carolina State University, Working report.
- MELESSE A.M., GRAHAM W.D. (2004). Tempête prédiction de ruissellement basé sur une méthode de temps de parcours répartis dans l'espace utilisant la télédétection et des SIG, *Journal de l'American Water Resources Association*, 8, 863-879.
- MICHAEL P., JERALD J., JACQUELYN M., CHARLES B., ROBERT N., ELI J., TODD P., LAMONT S.J. (2010). Watershed analysis with GIS: The watershed characterization and modeling system software application, *Computers & Geosciences*, 36, 970-976.
- MITASOVA, H., MITAS, L. (2001). Modeling Physical Systems, In: Geographic Information Systems and Environmental Modeling, Parks B., Crane M. and Clarke, K eds., Prentice Hall, New York.

- N'GO Y.A., GONÉ D.L, SAVANÉ I, GOBLÉ M.M. (2004). Potentialités en eaux souterraines des aquifères fissurés de la région d'Agboville (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire): Caractérisation hydroclimatique et physique. Laboratoire « Géosciences et Environnement », Université d'Abobo-Adjamé, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Côte d'Ivoire.
- N'GUESSAN K. A., KONAN K. F., BONY K. Y., EDIA O. E., GNAGNE T., TRAORE S., HOUENOU P.V. (2011). Prospects for rehabilitation of manmade lake system of Yamoussoukro (Ivory Coast). *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 9, 140-147.
- N'GUESSAN K.A., KOUASSIAMANI M., GNABOA R., TRAORÉ K.S., HOUENOU P.V. (2014): Analyse de phénomènes hydrologiques dans un bassin versant urbanisé: cas de la ville de Yamoussoukro (centre de la Côte d'Ivoire), *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°17, Mars 2014, 135-154
- ROSI S., STAMM C., REICHERT P. (2009). Modeling potential herbicide loss to surface waters on the Swiss plateau, *Journal of Environmental Management*, 91, 290-302.
- ROUSSEAU, A.N., MAIHOT, A., MASSICOTTE, S., DUCHEMIN, M., DUPONT, J., VILLENEUVE, J.P. (1997). GIBSI: A watershed-based software system for the integrated management of surface water quality. *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 25, n°4, 284–301.
- SCHEREN P.A.G.M., KROEZE C., JANSSEN F.J.J.G., HORDIJK L., PTASINSKI K.J. (2004): Integrated water pollution assessment of the Ebrie Lagoon, Ivory Coast, West Africa, *Journal of Marine Systems*, 44, 1-17.
- TAGHAVI L., PROBST J.L., MERLINA G., MARCHAND A.L., DURBE G., PROBST A. (2008). Pesticides transfer in a small agricultural catchment (Aurade, South west of France) during flood flows: partitioning into dissolved and particulate fractions. 5 European conference on pesticides and related organic micropollutants in the environment and the 11th Symposium on Chemistry and Fate of Modern Pesticides, Marseille, 22-25 October.
- TRAORE K.S., MAMADOU K., DEMBELE A., LAFRANCE P., MAZELLIER P., HOUENOU P. (2006). Contamination de l'eau souterraine par les pesticides en régions agricoles en Côte d'Ivoire, *Journal Africain des Sciences de l'Environnement*, n°1, 1-9.