



Suivi de la turbidité et des matières en suspension dans les rivières côtières en milieu tropical : cas de la Mé et de l'Agneby (sud-est de la Cote d'Ivoire)

AKA Natchia*¹, Traoré Abou², Dangui Nadi Paul³ et Gboko Yao Dakro Albert²

¹Département Environnement, Centre de Recherches Océanologiques (CRO), Côte d'Ivoire

²Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux, UFR-STRM des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire

³Institut de Géographie tropicale, UFR des SHS, Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, Côte d'Ivoire

*Auteur correspondant, email : akanatch@yahoo.fr

Submission 2nd December 2022. Published online at <https://www.m.elewa.org/Journals/> on 31st March 2023.
<https://doi.org/10.35759/JABs.183.1>

RESUME

Au Sud de la Côte d'Ivoire, l'État fait recours aux rivières côtières Mé et Agnéby pour pallier le déficit en eau potable destinée aux populations. Cependant, la forte turbidité et les concentrations élevées des matières en suspension dans ces cours d'eaux sont des indicateurs de la dégradation de leur qualité.

Objectif Cette étude vise à évaluer la dynamique de la turbidité et des Matières en Suspension (MES) au cours du temps.

Méthodologie et Résultats Pour ce faire, des mesures journalières de turbidité et de MES ont été réalisées sur un total de 277 échantillons d'eau prélevés dans la Mé et de 261 dans l'Agnéby sur la période allant de juin 2019 à mai 2020. Les concentrations en MES et ses différentes composantes ont été déterminées par gravimétrie et la turbidité par néphélométrie. La représentation graphique en nuage de points des couples de données turbidité-MES a permis d'établir la nature de leur relation. Les résultats montrent que dans la Mé, les concentrations en MES varient de 20 à 1000 mg/L et la turbidité oscille entre 53,94 et 1845 NTU. Ces valeurs élevées perdurent toute la durée de l'étude et indiquent que les eaux sont de qualité médiocre. Par contre, dans l'Agnéby, les eaux sont de qualité bonne à moyenne. Elles sont moins chargées en MES, avec des valeurs comprises entre 2 et 300 mg/L et une turbidité comprise entre 3,89 et 242 NTU. Pour des teneurs élevées en MES, la fraction minérale l'emporte sur la fraction organique. La grande variabilité des MES et de la turbidité des eaux est liée aux activités agricoles et d'extraction de sable ainsi que de l'orpaillage illégal. Il existe une très bonne corrélation linéaire entre la turbidité et les MES dans la Mé contrairement à l'Agnéby.

Conclusion et Application des résultats : Cette étude a mis en lumière les conséquences de l'orpaillage illégal sur la qualité de la rivière Mé. C'est un outil d'aide à la décision qui permettra la surveillance en continu de la qualité des cours d'eau par la mesure de la turbidité seulement et la prise de décisions par les États contre le fléau de l'orpaillage

Mots-clés : Rivières côtières, Mé, Agnéby, turbidité, Matières en Suspension

Monitoring turbidity and total solid suspended in coastal rivers in tropical environment: case of Mé and Agnéby (southeast of Côte d'Ivoire)

ABSTRACT

In the south of Côte d'Ivoire, the State uses the Mé and Agnéby coastal rivers to make up for the lack of drinking water to supply the populations. However, the high turbidity and high concentrations of Total suspended solids in these watercourses are indicators of the deterioration of their quality.

Objective: To evaluate the dynamics of turbidity and Total suspended solids (TSS) over time.

Methodology and results: To do this, daily turbidity and TSS measurements were taken on a total of 277 water samples taken from the Mé and 261 from the Agnéby over the period from June 2019 to May 2020. TSS concentrations and its various components were determined by gravimetry and turbidity by nephelometry. The graphical representation in point cloud of the turbidity-TSS data pairs made it possible to establish the nature of their relationship. The results show that in the Mé, the TSS concentrations vary from 20 to 1000 mg/L and the turbidity oscillates between 53.94 and 1845 NTU. These high values persist throughout the duration of the study and indicate that the water is of poor quality. On the other hand, in Agnéby, the waters are of good to average quality. They are less loaded with suspended solids, with values between 2 and 300 mg/L and the turbidity is between 3.89 and 242 NTU. For high SS contents, the mineral fraction prevails over the organic fraction. The great variability of suspended solids and water turbidity is linked to agricultural activities and sand extraction as well as illegal gold panning. There is a very good linear correlation between turbidity and suspended solids in the Mé unlike in the Agnéby.

Conclusions and applications of results: This study shed light on the consequences of illegal gold panning on the quality of the Mé River. It is a decision support tool that will allow continuous monitoring of the quality of waterways by measuring turbidity and decision-making by States against the scourge of gold panning.

Keywords: Coastal Rivers, Mé, Agnéby, turbidity, suspended solids

INTRODUCTION

Les matières en suspension (MES) (particules fines, argiles, sables et limons, matériaux organiques variés, insolubles, en suspension dans l'eau de tailles comprises entre un micromètre et un centimètre) sont le résultat de l'érosion des sols des bassins versants (Decamps et Casanova-Batut, 1978 ; CCME, 2002 ; MDDELCC, 2016). Selon MDDELCC (2016), les MES se trouvent dans les cours d'eau en concentration plus ou moins élevée selon la nature du milieu, les apports provenant du bassin versant et les variations saisonnières. Les perturbations du milieu, qu'elles soient d'origine naturelle (vent, pluie, courant, marée, érosion, etc.) ou anthropique (rejets d'eaux usées, navigation, dragage, érosion des secteurs perturbés par les activités humaines,

etc.), peuvent générer des concentrations anormalement élevées de MES. Si elles perdurent, ces concentrations élevées peuvent représenter une menace pour la vie aquatique à travers le milieu physique et les organismes (MDDELCC, 2016). Elles peuvent également rendre les eaux impropres à la consommation humaine ou rendre onéreuse le traitement pour les rendre potables. L'augmentation des MES dans l'eau provoque généralement une augmentation de sa turbidité (CCME, 2002). La turbidité ou nébulosité désigne la teneur d'un fluide en matières qui le troublent. Elle est définie comme la réduction de la transparence d'un liquide par la présence de matières non dissoutes (Maréchal 2000). Elle est causée par diverses matières en suspension (MES) ou

colloïdales composées de limon, d'argile, de composés organiques ou inorganiques ainsi que du plancton et d'autres micro-organismes. Ces particules peuvent être invisibles à l'œil nu. Cependant, elles sont suffisamment grandes pour interagir avec la lumière (Santé Canada, 1995). La turbidité est une mesure du manque de clarté ou de transparence de l'eau. Elle résulte des propriétés optiques des substances présentes dans l'eau, qui provoquent la diffusion et l'absorption de la lumière (MDDELCC, 2016). Les effets de la turbidité sur le milieu aquatique sont liés à la diminution de la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau. Une turbidité élevée réduit la photosynthèse et la capacité des poissons et des autres organismes aquatiques à voir et à saisir leur nourriture. À long terme, les effets indirects de la turbidité impactent l'ensemble de la chaîne trophique par diminution de la productivité primaire et secondaire, et entraînent une perturbation de croissance des organismes (CCME, 2002). Les sources de matières particulaires peuvent être d'origine naturelle (acides humiques, particules provenant de la dégradation des végétaux ou de l'érosion du sol) ou anthropique (rejets industriels, agricoles et urbains) (US EPA, 1999). En Côte d'Ivoire, la majorité des villes de l'intérieur est alimentée en eau potable via les eaux de surface, plus précisément les cours d'eau. Ces eaux peuvent être rendues impropres du fait de la turbidité due aux remobilisations de sédiments fluviaux en période de crue ou du fait des activités minières, essentiellement alluvionnaires. Ces

activités peuvent induire dans le réseau hydrographique en aval des sites d'orpaillages, le transfert d'énormes quantités de boues (Blum *et al.*, 2014). Ce phénomène qui était auparavant saisonnier est devenu chronique dans plusieurs cours d'eau ivoiriens tels que les grands fleuves Bandama et Comoé ainsi que les rivières côtières Eholié, Bia, Tanoé, Mé et Agnéby. En 2017, l'accentuation de cette pollution a été à la base de l'arrêt de la fourniture de l'eau de consommation humaine dans les localités de Bianouan et de Bouaflé (PLANGIRE, 2022). L'étude de l'évolution des MES et de la turbidité dans les rivières côtières Mé et Agnéby apparaît plus que jamais nécessaire car ces cours d'eau sont d'une importance capitale dans l'approvisionnement en eau potable des populations riveraines. En effet, la rivière Agnéby a été choisie dans le cadre du Projet de renforcement de l'alimentation en eau de la ville d'Agboville et sa région (PREMU, 2017). Quant à la rivière Mé, elle fait l'objet d'un projet, en cours, de prise d'eau qui permettra à terme de renforcer la production d'eau potable, avec un débit de 259000 m³/j pour la ville d'Abidjan. La présente étude trouve son origine dans une réflexion sur les conséquences que pourraient avoir une turbidité et des concentrations en matières en suspension non conformes sur la qualité de ces cours d'eau et comment y remédier. Elle a pour objectif d'évaluer la dynamique de la turbidité et des MES dans la Mé et dans l'Agnéby et de déterminer la relation entre ces deux paramètres.

MATERIEL ET METHODES

Présentation de la zone d'étude : La Mé et l'Agnéby sont deux rivières côtières mitoyennes au nord de leur bassin versant. Elles sont situées dans le sud-est de la Côte d'Ivoire entre les latitudes 5° et 7° Nord et les longitudes 3°30' et 5° Ouest (Délor *et al.*, 1992 ; Adou *et al.*, 1995). Les principales caractéristiques hydrologiques de ces rivières

sont présentées dans le tableau 1. La Mé d'une longueur de 140 km prend sa source dans le département de Yakassé-Attobrou (Figure 1). Son écoulement est Nord-sud et son bassin versant, d'une superficie de 4400 km² se situe sur le panneau schisteux Sud-est ivoirien. En ce qui concerne l'Agnéby, elle prend sa source dans le Centre-est à Agoua dans le département

de Bongouanou, traverse la région d'Agboville et se jette dans la lagune Ebrié près de Dabou (Figure 2). Elle est longue de 200 km et sa superficie est de 8900 km² également situé sur le même substratum schisteux que la Mé. La photo 1 présente une vue des deux rivières. La végétation rencontrée sur les bassins versants respectifs de ces rivières est de type forêt dense, aujourd'hui, très dégradée du fait de

l'agriculture, dominée par le binôme cacao-café et l'hévéa. Le climat est de type équatorial humide à quatre saisons : une grande saison des pluies (avril à juillet) et une petite saison des pluies (octobre à novembre) entrecoupées par la petite saison sèche (août à septembre) et la grande saison sèche (décembre à mars). Leur régime hydrologique est bimodal, calqué sur les saisons.

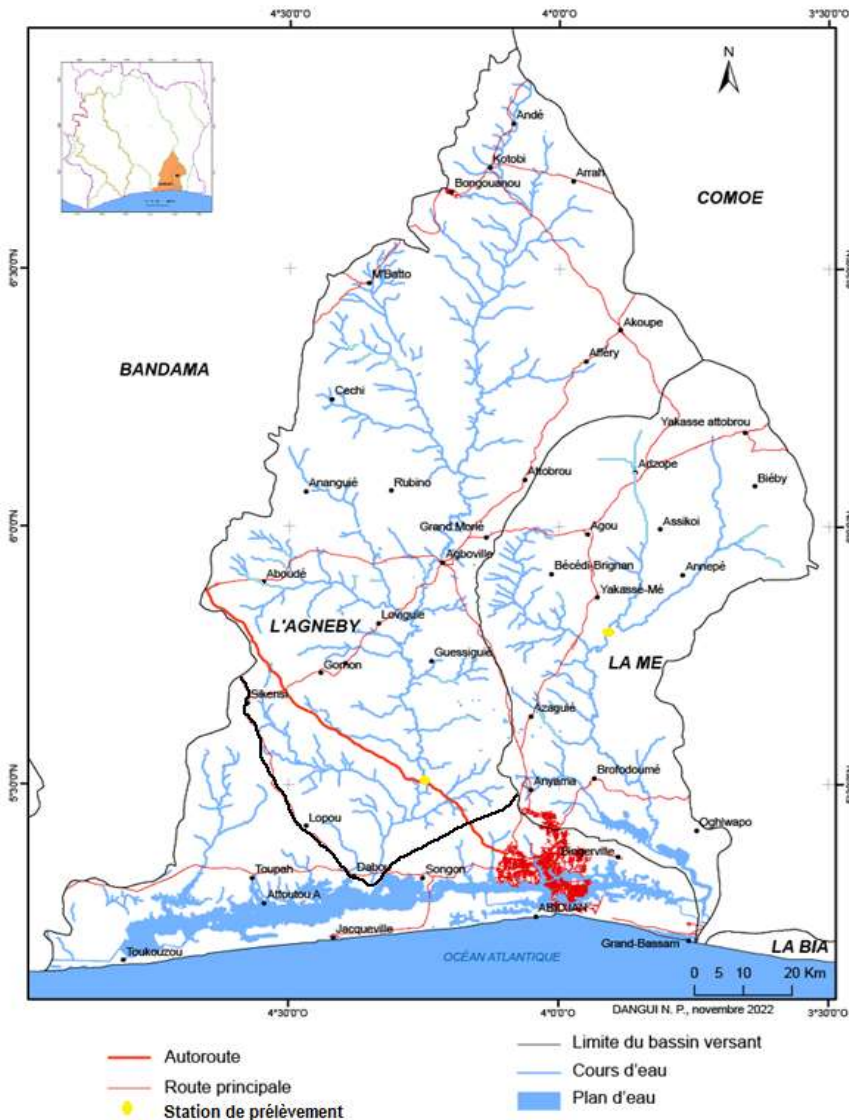


Figure 1 : Bassins versants de l'Agneby et de la Mé

Les principales caractéristiques hydrologiques de ces rivières sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Principales caractéristiques hydrologiques des cours d'eau étudiés (Girard & al. 1982 ; données de débits par la Direction de l'Hydrologie)

Cours d'eau	Agnéby	Mé
Superficie (km ²)	8900	4400
Débit interannuel (m ³ /s)	22	11,35 (1983-2012)
Longueur du cours	200	140
Pente (m/km)	125	-
Végétation	Forêt	Forêt



a

b

Photo 1 : Les rivières Mé (a) en août 2019 sur la route d'Alépé et Agnéby en juillet 2020 au PK 39 sur l'autoroute du Nord

La Mé, d'une longueur de 140 km prend sa source dans le département de Yakassé-Attobrou (Figure 1). Son écoulement est Nord-sud et son bassin versant, d'une superficie de 4400 km² se situe sur le panneau schisteux sud-est ivoirien. En ce qui concerne l'Agnéby, elle prend sa source dans le Centre-est à Agoua dans le département de Bongouanou, traverse la région d'Agboville et se jette dans la lagune Ebrié près de Dabou (Figure 1). Elle est longue de 200 km et sa superficie est de 8900 km² également situé sur le même substratum schisteux que la Mé. La photo 1 présente une vue des deux rivières. La végétation rencontrée sur les bassins versants respectifs de ces rivières est de type forêt dense, aujourd'hui, très dégradée du fait de l'agriculture, dominée par le binôme cacao-café et l'hévéa. Le climat est de type équatorial humide à quatre saisons

: une grande saison des pluies (avril à juillet) et une petite saison des pluies (octobre à novembre) entrecoupées par la petite saison sèche (août à septembre) et la grande saison sèche (décembre à mars). Leur régime hydrologique est bimodal, calqué sur les saisons.

Échantillonnage : Sur le terrain, les prélèvements d'eau ont été effectués dans les rivières à l'aide d'un seau par un enquêteur placé sur le pont. Ainsi, un (1) L d'eau destiné aux analyses de MES et turbidité est recueilli quotidiennement dans un flacon en polyéthylène puis conservé dans une glacière. La Mé a été suivie sur une période allant de juin 2019 à Mai 2020 à sa station hydrométrique de Lobo-Akoudzin. Un total de 277 échantillons a été obtenu au cours de cette période et a fait l'objet d'analyse de la turbidité

et des MES après dépouillement. Ces différents prélèvements ont été couplés à la lecture des hauteurs d'eau sur des échelles graduées installées sur la rive droite de la rivière par l'enquêteur. Quant à l'Agnéby, elle a été suivie sur une période allant de juin 2019 à Avril 2020 pour la turbidité et de juillet 2019 à avril 2020 pour les MES à sa station située sur l'autoroute du Nord au PK39 anciennement appelée stations les bambous. Le total d'échantillons analysés est de 261 pour la turbidité et de 220 pour les MES. Les différentes analyses ont été effectuées au laboratoire de chimie du Centre de Recherches Océanologiques (CRO) d'Abidjan.

Analyse des échantillons : Les différentes analyses ont été effectuées au laboratoire de

chimie du Centre de Recherches Océanologiques (CRO) d'Abidjan. Dans ce laboratoire, la turbidité a été déterminée par la méthode néphélométrique à l'aide d'un turbidimètre de type HACH 2100 QiS. Le principe de cette méthode est de mesurer l'intensité de la lumière dispersée à un angle de 90° par rapport à la lumière incidente. Cette diffusion est liée aux MES et surtout à leur taille, à leur forme et à l'indice de réfraction des particules (Blum et al. 2014). L'unité retenue est le Nephelometric Turbidity Unit (NTU) proposée par l'US-EPA. La méthode est décrite par la norme NF EN ISO 7027 (2000). Les turbidités ont été comparées à la classe de qualité des eaux naturelles selon la SEQ-Eau France (2003) (Tableau 2).

Tableau 2 : Classe de qualité des eaux selon le SEQ-Eau France (2003)

Très bonne	2
Bonne	35
Moyenne	70
Médiocre	100
Mauvaise	

La méthode gravimétrique a été utilisée pour le dosage de MES et a consisté à filtrer un échantillon d'eau sur une membrane poreuse. La membrane utilisée est en microfibre de verre de type Whatman GF/C de porosité 1,12 µm et de diamètre 47 mm comme préconisé par CEAEQ (2012). Ce filtre est séché au préalable à l'étuve à 105°C puis pesé à l'aide d'une balance. On obtient une masse M1. Après filtration d'un volume (V) d'eau, le filtre est séché puis pesé à nouveau et on obtient une masse M2. Les concentrations en MES sont déterminées à l'aide du rapport suivant :

$$MES \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{M2 - M1}{V}$$

Avec : M1 : la masse en mg du filtre avant filtration ; M2 : la masse du filtre après filtration, séchage et V : le volume filtré en litre.

La quantité de solides en suspension volatils qui représente la fraction de la matière

organique est obtenue par la différence entre le poids du résidu calciné à 550 °C (fraction minérale) et celui du résidu séché à 105 °C selon le CEAEQ (2012). Seuls les filtrats de MES issus des mois de mars et avril 2020 ont été retenus pour la rivière Agnéby ainsi que ceux des mois d'octobre et décembre pour la rivière Mé ont permis de déterminer les fractions minérales et dissoutes des MES. Aucun critère n'a été retenu pour ces choix mais plutôt la disponibilité des filtrats dont nous avons perdu la majorité vu le temps mis pour disposer d'un four adapté à ce genre d'analyses. Les prélèvements d'échantillons ont été couplés avec les relevés de hauteurs d'eau aux stations mais seules les données obtenues à la station de Lobo-Akoudzin sur la Mé sont exploitables et sont représentatives de l'évolution des débits sur ces cours d'eau voisins. Une étude de corrélation par la méthode de Pearson sur excell a été faite entre

les MES et la turbidité. Cela dans le but d'estimer les MES dont l'analyse est plus fastidieuse et onéreuse à partir de la teneur en turbidité plus pratique à mesurer et reproductible à des pas de temps plus court (Hannouche *et al.*, 2011). La représentation graphique en nuage de points des couples de données turbidité-MES permet de connaître le type de la relation entre les deux variables. Il peut s'agir par exemple d'un ajustement de type affine ($y = ax + b$), polynomial ($y = ax^2 + bx + c$), exponentiel ($y = Keax$), logarithmique

($y = a \ln x + b$) ou sous forme de puissance ($y = Kxa$) (MDDELCC, 2016). Le coefficient de détermination R^2 de la droite de régression obtenue fournit une indication sur la validité de la relation turbidité-MES. Si la valeur de R^2 est proche de 1, alors les variables sont fortement corrélées ; à l'inverse, plus R^2 se rapproche de 0, plus les variables sont indépendantes. Un coefficient inférieur à 0,6 indique que la turbidité est un mauvais indicateur de la concentration de MES (Downing, 2005).

RÉSULTATS

Matières en suspension (MES) : Les concentrations en MES relevées dans la rivière Mé sont très variables et élevées durant toute la période de l'étude. Elles se situent entre un

minimum de 20 mg/L, obtenu en juillet et octobre et un maximum de 1000 mg/L obtenu en avril 2020 (figure 2), avec une moyenne sur la période d'étude de 171,1 mg/L.

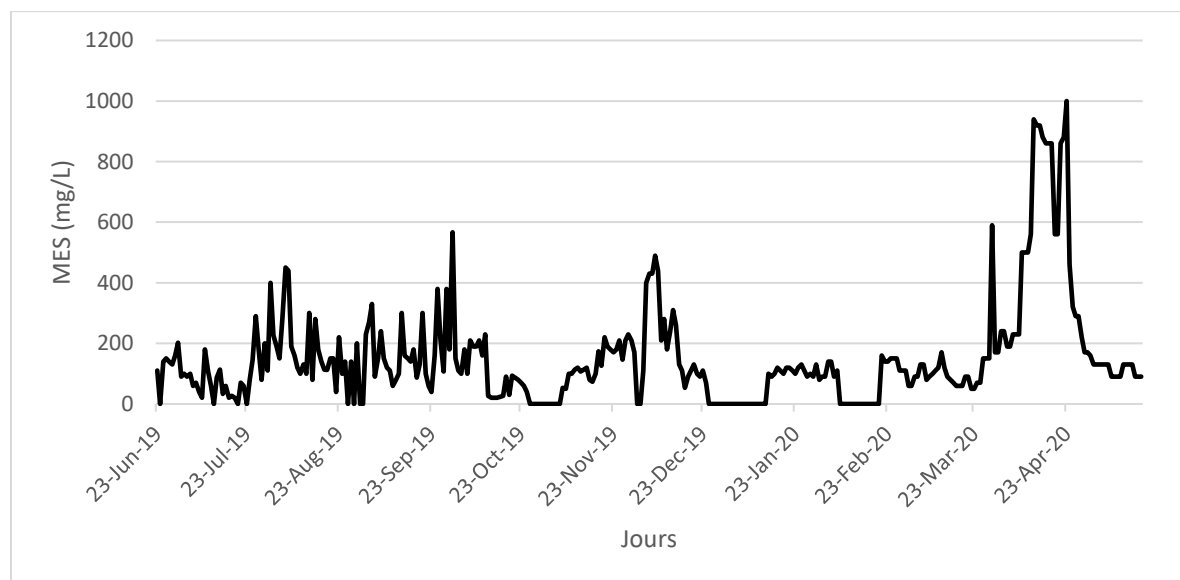


Figure 2 : Évolution journalière des MES de la Mé de juin 2019 à Mai 2020

Le mois d'avril qui correspond aux premières pluies de la grande saison pluvieuse est celui où la concentration moyenne mensuelle la plus élevée (521 mg/L) est mesurée. Il est suivi du mois de décembre qui correspond au début de la grande saison sèche (217 mg/L). Les mois d'octobre (petite saison pluvieuse) et de juillet (fin de la grande saison pluvieuse) sont ceux où les concentrations de MES enregistrées sont les plus faibles, avec des valeurs respectives de

100,66 mg/L et de 103,27 mg/L. Ces concentrations situent les eaux de la Mé dans la classe des eaux de mauvaise qualité. Quant à la rivière Agnéby, les concentrations enregistrées sont faibles comparativement à celles relevées dans la Mé (figure 3) et se situent entre 2 et 300 mg/L. Toutefois, l'on note de fortes variations journalières, avec des pics en octobre 2019, décembre 2020 et avril 2020 (figure 4). Les moyennes mensuelles les

plus élevées se situent dans les mois d'octobre (69,03 mg/L) et avril (75,75 mg/L) en début de saison de la grande saison des pluies. En revanche, les moyennes mensuelles les plus faibles sont relevées au cours des mois de

juillet en décrue et en étiage (janvier février et mars), avec des moyennes comprises entre 9 et 13 mg/L (tableau 3). La moyenne des teneurs en MES sur la période d'étude est de 29,24 mg/L.

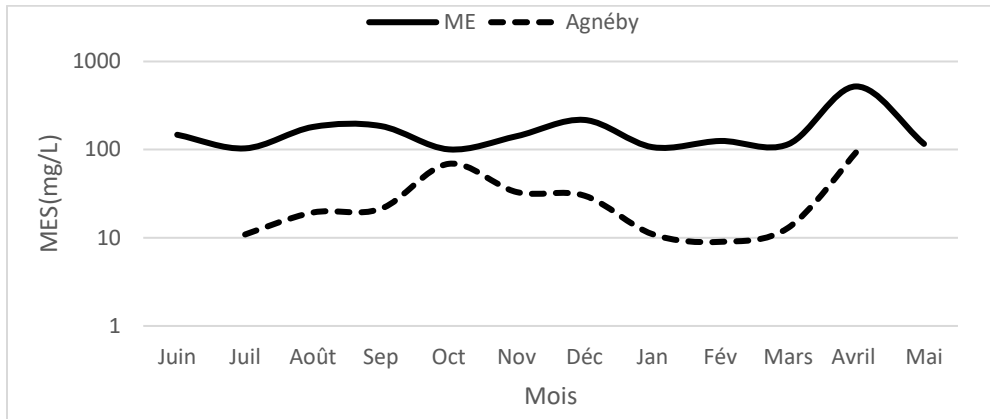


Figure 3 : Évolution mensuelle des teneurs en MES des eaux de la Mé et de l'Agnéby durant la période juin 2019 à Mai 2020

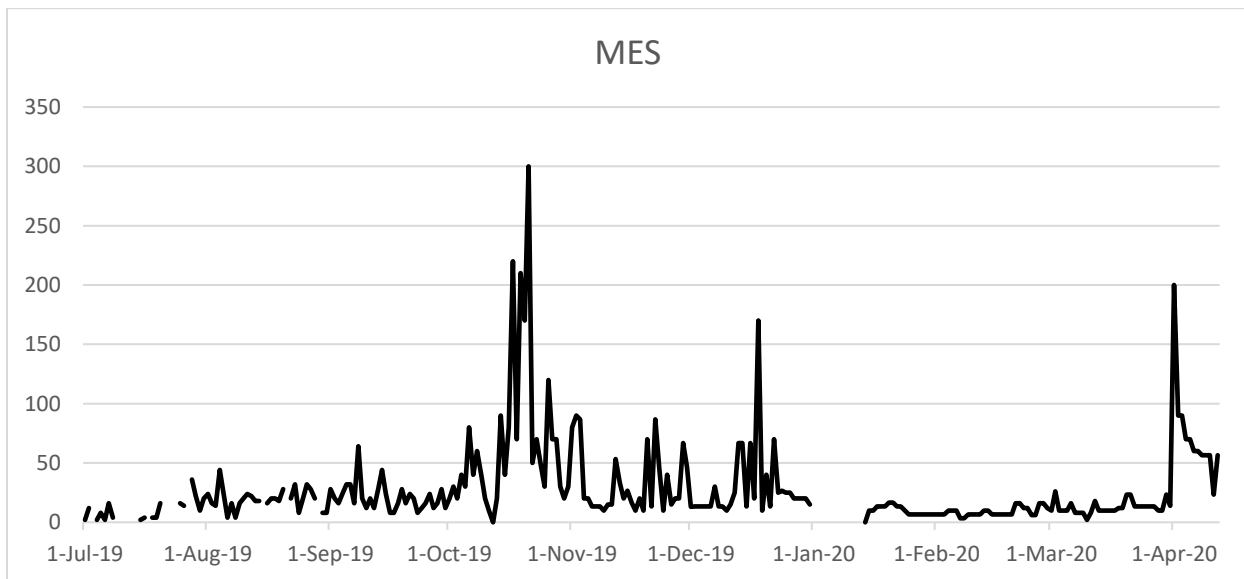


Figure 4 : Évolution journalière des MES de l'Agnéby de juin 2019 à avril 2020

Tableau 3 : Statistique descriptive des valeurs journalières des MES de la Mé et de l'Agneby de juin 2019 à Mai 2020

		MES (mg/L)											
Mois	Jun	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Total
Rivière Mé													
Nombre de jours	8	28	27	30	25	25	22	18	15	31	30	18	277
Min	110	20	40	40	20	50	53	80	90	50	170	90	20
Max	202	450	450	567	230	230	490	130	160	590	1000	160	1000
Moy	147,43	103,27	180,81	185	100,66	142	217	106,66	125,33	115,16	521	116,11	171
Ecartype	28,74	94,82	98,27	118,13	70	53,91	141	14,55	24,74	95,74	297,44	22,53	88,32
Rivière Agnéby													
Nombre de jours		20	28	30	30	30	31	18	29	31	11	-	258
Min		2	4	8	10	10	10	7	3	2	23,33		2
Max		36	44	64	300	90	170	17	16	26	200		300
Moyenne		11,1	19,36	21,33	69,03	33	30	11	9	13	75,75		29,24
Ecartype		9,2	8,79	11,62	68,38	26,59	31,61	3,75	3,68	5,3	45		21,39

Turbidité : Les résultats du suivi de l'évolution de la turbidité journalière dans les rivières Mé et Agnéby sont présentés dans le tableau 4. La turbidité observée sur la période d'étude dans la Mé est très élevée. Ces valeurs oscillent quotidiennement entre 53,94 NTU obtenue en octobre 2019 et 1845 NTU, relevée en avril 2020 en début de crue avec une moyenne de 392 NTU. Les valeurs élevées perdurent toute la durée de l'étude. Les faibles valeurs ont été mesurées en octobre au cours de la petite saison des pluies, avec une pluviométrie plus importante que celle enregistrée en juin où généralement le plus grand pic de la saison pluvieuse s'observe sur les bassins côtiers. Un effet de dilution est ici observé. Dans l'ensemble, les faibles valeurs de turbidité ont été mesurées en périodes de hautes eaux et lors de l'étiage absolu où les débits sont presque nuls (janvier à mars 2020). Les valeurs élevées de turbidité ont été obtenues en début de crue, en avril 2020 et en

décembre, avec des moyennes mensuelles proches de 1500 NTU. Pendant toute la période d'étude, la turbidité moyenne mensuelle mesurée dans la rivière Mé est située dans la classe de qualité médiocre pour le bon fonctionnement écologique de ce cours d'eau selon le guide SEQ-Eau. Dans la rivière Agnéby, les valeurs de turbidité journalières mesurées se situent entre les valeurs de 3,89 NTU et 242 NTU obtenues respectivement en juillet et décembre avec une moyenne de 22,8 NTU. La turbidité moyenne mensuelle mesurée situe les eaux de cette rivière dans les classes de qualité bonne à moyenne. Dans la Mé, la turbidité et la hauteur d'eau évoluent de façon similaire exceptée le mois d'août (Figure 5). La turbidité mesurée dans les eaux de la Mé est largement supérieure à celle mesurée dans les eaux de l'Agnéby. Cependant, sur les deux cours d'eau, les valeurs de la turbidité ont des évolutions similaires sur toute la période d'étude (Figure 6).

Tableau 4 : Statistique descriptive des valeurs journalières de turbidité de la Mé et de l'Agneby de juin 2019 à Mai 2020

Turbidité (NTU)													
Mois	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Total
Rivière Mé													
Nombre de jours	8	31	24	30	25	25	22	18	15	31	30	18	277
Min	142	216,66	363,33	62	53,94	102	282	160	175	57,5	353	333	53,94
Max	358	873,33	898,33	870	244,2	468	1564,1	285	323	937	1845	505	1845
Moy	235,58	467,47	560,07	275,2	110,29	317	732,5	205,16	261,46	207,7	926,07	405,89	392
Ecartype	83,52	168,19	138,25	183,47	59,76	111,71	434,18	31,32	46,32	206,88	477,4	58,47	166,62
Rivière Agneby													
Nombre de jours	8	29	26	30	30	28	31	16	29	31	3	-	261
Min	6,69	3,89	5,7	12,12	7,94	7,08	8,51	8,58	9	8,6	7,39	-	3,89
Max	46,6	70,83	91,83	76,5	105	40,8	242	21,4	28,8	25,3	85	-	242
Moyenne	13,28	23,04	18,23	20,79	30,25	22,15	46,4	13,65	15,58	12,48	34,98	-	22,80
Ecartype	13,53	14,87	19,47	14,83	27,08	11,56	58	3,5	5,79	4,08	43,4	-	19,64

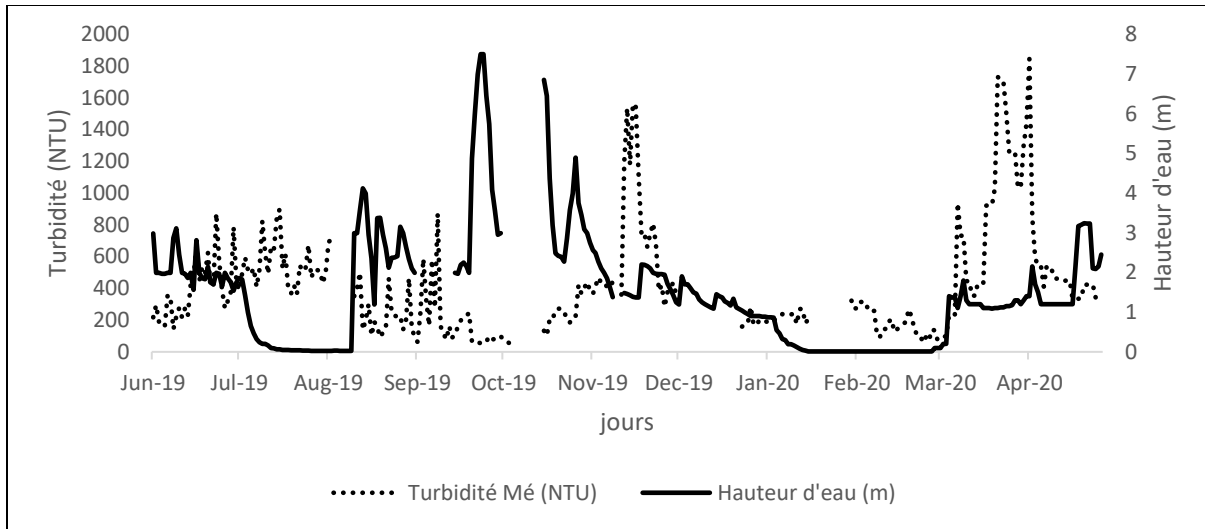


Figure 5 : Évolution de la turbidité et des hauteurs d'eau de la rivière Mé de juin 2019 à Mai 2020

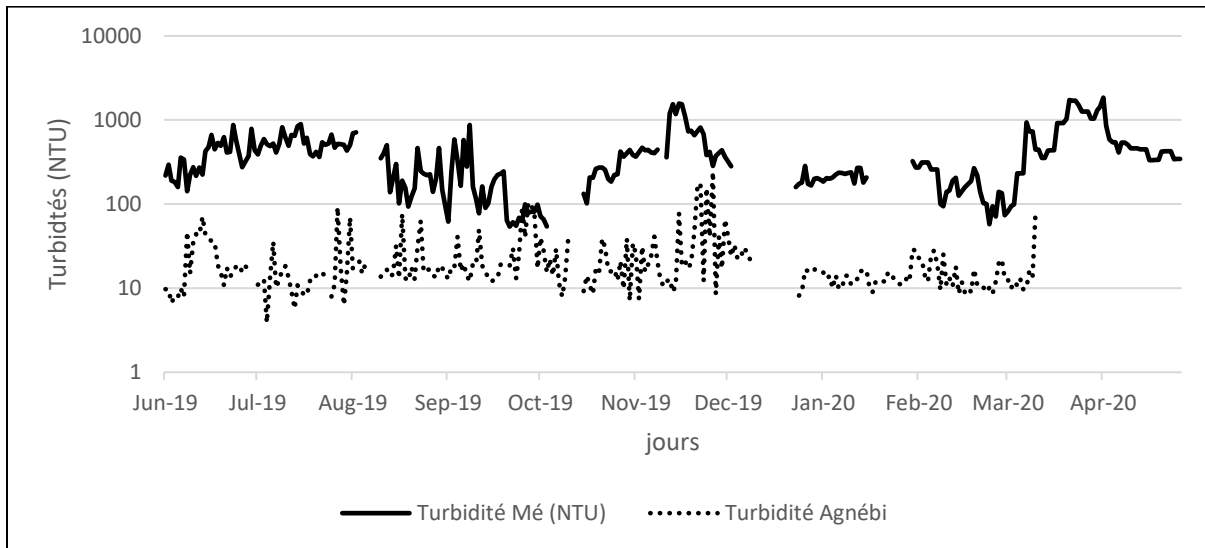
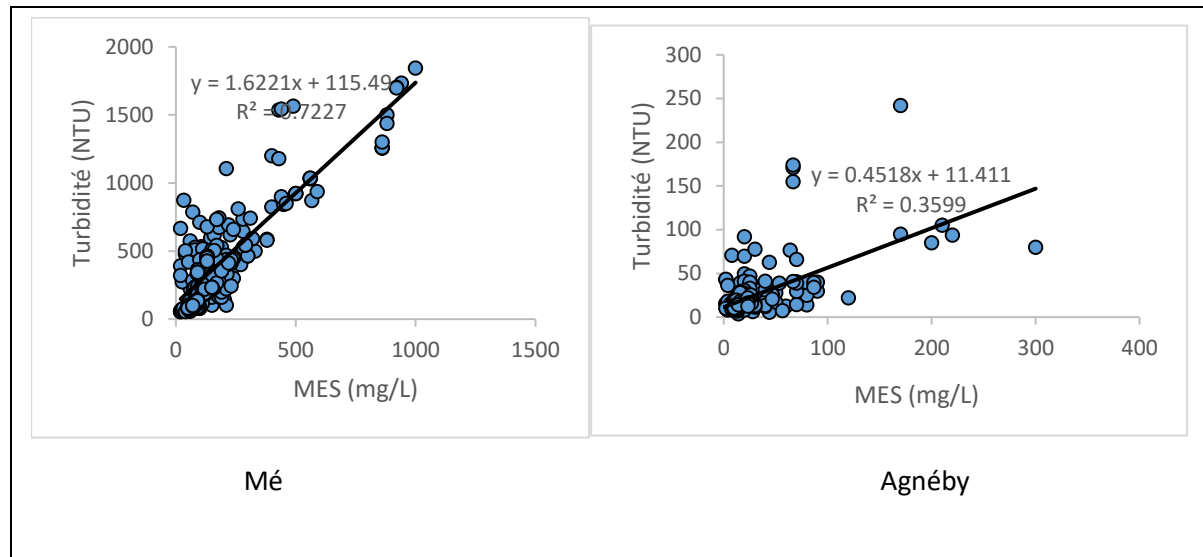


Figure 6 : Évolution de la turbidité dans les rivières Mé et Agnéby de juin 2019 à Mai 2020

Relation Turbidité –MESP : La figure 7 présente les différentes corrélations obtenues entre la turbidité et les concentrations en MES des rivières Agnéby et Mé durant la période d'étude. Ces graphes présentent d'une part,

une forte corrélation globale ($R^2=0,72$) entre la turbidité et les concentrations en MES dans la rivière Mé et d'autre part, une faible corrélation ($R^2=0,36$) entre la turbidité et les concentrations en MES dans la rivière Agnéby.



Les figures 7 et 8 présentent respectivement les différentes corrélations obtenues entre les teneurs en turbidité et en MES des rivières Agnéby et Mé durant la période d'étude.

Figure 7 : Corrélation MES-Turbidité de juin 2019 à Mai 2020

Matières organiques et minérales : Le matériel particulaire en suspension dans les rivières Mé et Agnéby comprend une partie minérale (MI) et une partie organique (MO). Les différentes fractions organiques et minérales des MES dosées sont consignées dans le tableau V. Les teneurs en MO varient de 1 mg/L dans l'Agnéby à 80 mg/L dans la Mé avec des moyennes respectives de 7,86 et 16,36 mg/L obtenues en mars et avril dans l'Agnéby et de 18,42 mg/L et 33,48 mg/L obtenues en octobre et décembre dans la Mé. Ces teneurs en MO varient peu contrairement à celles de la fraction minérale qui a une allure similaire à celle des MES surtout dans la rivière Mé (figure 9a et b). Ces dernières ont des teneurs comprises entre 1 mg/L dans l'Agnéby à 460 mg/L dans la Mé avec des

pourcentages respectifs de 81,6% et 84,55% des MES enregistrées dans les mois d'octobre et décembre dans la Mé et de 78,33% dans le mois d'avril dans l'Agnéby. Toutefois, il convient de noter que la fraction organique des MES l'emporte sur la fraction minérale dans l'Agnéby qui enregistre des faibles teneurs en MES. Le mois de mars traduit bien ce constat avec des fractions organiques représentant 62,18% des MES contre 37,5% pour la fraction minérale. Au cours du mois d'avril où les teneurs en MES atteignent une moyenne de 75,75 mg/L (figure 10). La part de la fraction minérale est passée à 78,33% et celle de la fraction organique ne représente que 21,16% quand bien même les teneurs en MO ont plus que doublées (moyenne de 16,36 mg/L en mars contre 7,86 mg/L en mars).

Tableau 5 : Fractions organiques et minérales des MES dans les eaux des rivières Mé et Agnéby

Paramètres		MES			MO			MI		
Mois	Nombre de jour	Min	Moy %MES	Max	Min	Moy %MES	Max	Min	Moy %MES	Max
Mé										
Octobre	25		100,66 100%	230	6,66	18,42 18,3%	35	13,33	82,24 81,6%	207
Décembre	22	53,33	217 100%	490	6,66	33,48 15,42%	80	46,66	183,48 84,55%	460
Agnéby										
Mars	31	2	12,64 100%	26	1	7,86 62,48%	16	1	4,74 37,5%	10
Avril	11	23,33	75,75 100%	201	13,33	16,36 21,66%	20	10	59,34 78,33%	180

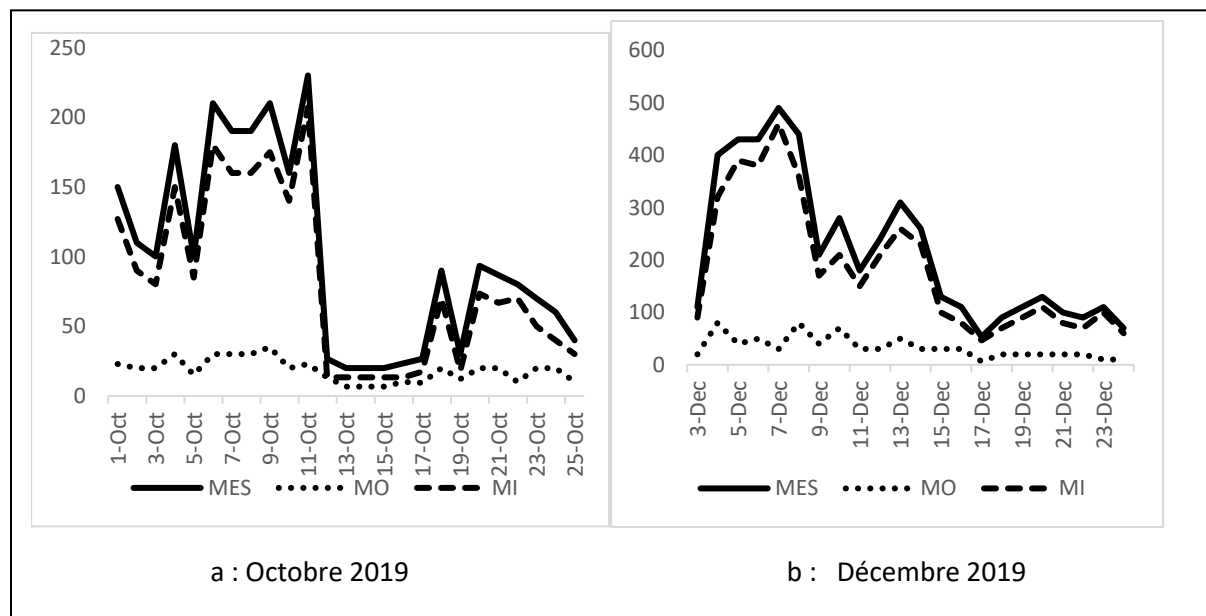


Figure 9 : Fractions minérales et organiques des MES dans la rivière Mé

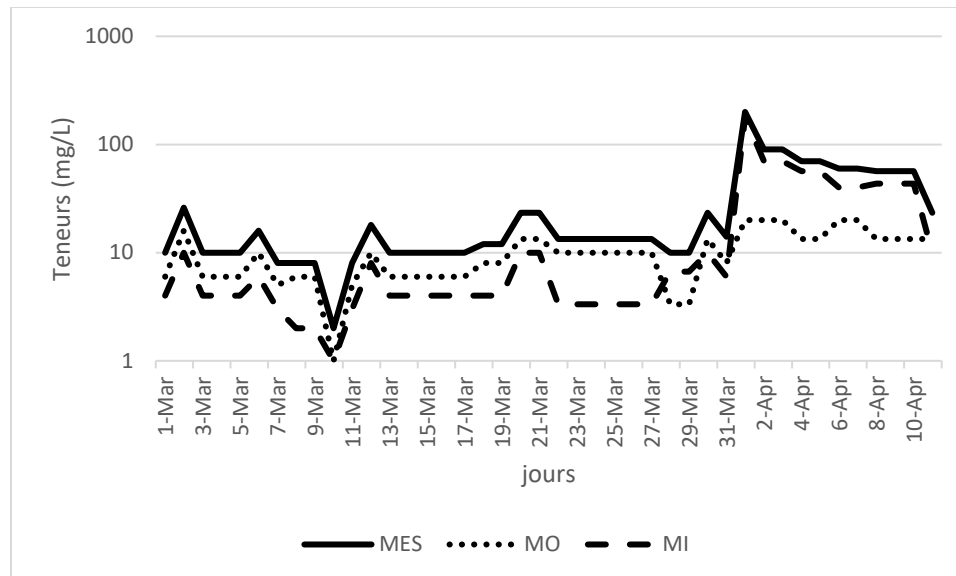


Figure 9 : Fractions minérales et organiques dans la rivière Agnéby de mars à avril 2020

DISCUSSION

Les observations faites sur les rivières Mé et Agnéby montrent que les concentrations en MES dans la Mé sont largement supérieures à 25 mg/L, valeur en dessous de laquelle les eaux sont dites limpides selon les normes canadiennes du MDDEFP (2013). Ces valeurs élevées le sont majoritairement au cours de l'année hydrologique d'étude. Ce qui sous-entend que le problème est récurrent sur ce cours d'eau. Les moyennes mensuelles sont quatre (octobre) à 21 fois (avril) supérieures à la valeur guide proposée ; cela affecte fortement la turbidité de l'eau dont les valeurs moyennes mensuelles oscillent entre 110 NTU en octobre et 926 NTU pour le mois d'avril. La turbidité est largement supérieure à la valeur guide de 5 NTU proposée par l'OMS (2017) pour les eaux brutes destinées à la consommation et 8 NTU, celle proposée par les normes canadiennes du MDDEFP (2013) pour la protection de la vie aquatique. Dans l'Agneby, contrairement aux eaux de la Mé, les teneurs moyennes mensuelles mesurées en MES sont supérieures à la norme de 25 mg/L au cours de 4 mois (octobre, novembre, décembre et avril) avec des teneurs près de 3 fois supérieures à cette norme. La turbidité et les MES sont généralement issues du couvert

végétal, des pratiques agricoles, des rejets industriels, des ruissellements urbains, de l'érosion des berges, etc. (Hebert et Légaré, 2000). Les teneurs en MES relevées dans la rivière Mé qui a un bassin versant de 4400 km², sont largement supérieures à celles de la rivière Agnéby qui a un bassin versant de 8900 km². D'après Tardy (1986), la taille du bassin est un facteur influant de la production spécifique de MES. Plus le bassin est de petite taille, plus il y a une forte production en raison d'un relief plus marqué et d'une capacité de rétention des particules par sédimentation plus faible que dans les grands bassins (Sow 2018). A titre de comparaison, Gboko et al., (2022) ont obtenu des teneurs en MES et turbidité faibles en aval du fleuve Sassandra (ouest ivoirien, Bassin versant de 75 000 km²) avec des moyennes respectives de 10,2 mg/L et 10,4 NTU. Cependant, les teneurs élevées en MES et par ricochet la forte turbidité enregistrée dans la Mé sont également dues dans un premier temps aux activités de gravières traditionnelles dans le lit de la rivière. En effet, des activités d'extraction des sables et graviers sont pratiquées dans le lit de la Mé. Dans la plupart des cas, l'exploitation porte directement sur le lit de la rivière, plus rarement sur la plaine

alluviale hors du lit. Secundo, une autre activité cette fois plus destructrice est l'orpaillage clandestin, observé ces dernières années en amont de la rivière dans la localité de Yakassé-Attobrou et qui se pratique aussi bien dans le lit que sur l'ensemble du bassin de la Mé. En effet, l'exploitation de cette ressource naturelle comme le souligne Courtin-Nomade (2018), va rendre plus accessible ou plus mobile certains éléments jusqu'alors stables au sein des roches. Les perturbations liées à l'excavation et le broyage (diminution de la granulométrie) des roches extraites vont modifier les paramètres physico-chimiques du milieu qui peuvent favoriser des réactions d'oxydation et d'hydrolyse des phases minérales, pour les principales. Il convient de remarquer qu'en terme de composition des MES, la part de la matière organique issue du plancton, des algues, du complexe détritique (détritus et bactéries) (Sow, 2018 ; Decamps et Casanova-Batut, 1978) est beaucoup moins importante par rapport à la partie minérale et ne représente que moins de 20% des MES totales dans la Mé. Contrairement à la Mé, les parts en MO dans l'Agneby sont supérieures à celles des matières minérales hormis le mois d'avril correspondant aux premières pluies qui remobilisent les suspensions issues des premières pluies qui lessivent les sols dénudés ou qui ont été labourés. Ces pluies emportent une partie du matériel détritique disponible pour le transport particulaire (Agbri et al., 2010). Cette observation est aussi valable pour la Mé. En plus des sources connues de MES, il faut ajouter les sources atmosphériques dues à l'Harmattan. Leurs effets sont observables au cours du mois de décembre dans les deux rivières étudiées où les teneurs en MES et la turbidité sont élevées. En effet, ce vent frais et sec, en provenance du Sahara, véhiculent d'énormes quantités de poussières qui participent à l'augmentation des teneurs en MES. Ainsi, chaque année, plus de 180 millions de tonnes de poussières et aérosols

riches en minéraux (Yu et al., 2015) émanent des dépressions du Sahara dont celle de Bodélé, l'une des sources de poussières les plus importantes au monde (Heft-Neal et al., 2020). Les teneurs élevées en MES mesurées dans la Mé perdurent dans le milieu contrairement à celles relevées dans l'Agneby qui sont saisonnières. Les MES, en concentrations élevées ou lors d'une exposition prolongée, peuvent avoir des effets néfastes sur les espèces les plus sensibles (Bilotta et Brazier, 2008 ; Wilber et Clarke, 2001). Ces teneurs peuvent représenter une menace pour la vie aquatique car, en plus d'avoir des effets directs sur le milieu physique et sur les organismes, elles se traduisent également par des effets indirects qui touchent diverses composantes de la vie aquatique (MDDELCC 2016). Comme effets directs, il y a une augmentation de la turbidité dans la colonne d'eau entraînant une dégradation de la qualité optique de l'eau et une augmentation de la température de l'eau, ainsi qu'une abrasion par les particules des branchies qui peut entraîner des mortalités par asphyxie de certains poissons (Bash et al., 2001). Il peut être constaté également, une sédimentation des MES entraînant un recouvrement et un colmatage des frayères et causant une perte de biodiversité ; une baisse de l'oxygène dissous et également une perturbation physique du cours d'eau. Ces effets directs peuvent entraîner des effets indirects tels que l'inhibition de la photosynthèse et la diminution primaire, les modifications comportementales des poissons, la diminution du taux de croissance, la réduction des organismes benthiques et les modifications de l'abondance de la biodiversité, etc. (MDDELCC 2016). Les concentrations élevées en MES jouent non seulement sur l'aspect physique de l'eau mais aussi sur l'aspect chimique. En effet, les particules en suspension sont des vecteurs de micropolluants minéraux (métaux lourds) et organiques (HAP, pesticides) et servent de

biofilm pour les microorganismes et toxines qui peuvent nuire à la désinfection de l'eau (Thayer et al., 2007 ; ASEF, 2010 ; Versini et al., 2015). Le traitement des eaux des rivières destinées à l'AEP ayant une forte turbidité est onéreux du fait des nombreuses techniques (floculation avec agents chimiques, filtration simple ou membranaire), utilisés pour atteindre la norme de 1-5 NTU préconisée après traitement par l'OMS (1996). Plusieurs auteurs ont abordé l'étude des paramètres turbidité et les MES ainsi que les différentes relations qui peuvent exister entre eux aussi bien dans les cours d'eau (Decamps et Casanova-Batut, 1978) que dans les réseaux résiduaires et le réseau d'assainissement unitaire (Maréchal 2000 ; Bertrand-Krajewski et al., 2010 ; Hannouche et al., 2011 ; MDDLEC, 2016). Ces auteurs ont mis en lumière l'existence d'un rapport univoque entre la valeur de turbidité et la concentration de matières en suspension dès lors que sont connues les caractéristiques des MES. Contrairement à l'analyse des MES, qui est longue et coûteuse car elle doit être effectuée en laboratoire, la mesure de la turbidité est simple, rapide et peut s'effectuer *in situ* et en continu (Downing, 2005 ; Hannouche et al., 2011). Dans cette étude, il a été obtenu une

relation linéaire entre les MES et la turbidité, avec un coefficient de corrélation globale R^2 de 0,72 dans la rivière Mé qui enregistre des teneurs en MES très élevées et où les matières minérales l'emportent sur les matières organiques. A l'inverse, il a été obtenu une corrélation globale faible ($R^2=0,36$) dans la rivière Agnéby qui enregistre de très faibles quantités de MES à dominante MO. Aka et al., (2020) ont obtenu des corrélations saisonnières variables entre la turbidité et les MES (une forte corrélation $R^2=0,97$) en période de hautes eaux en petite saison pluvieuse et une corrélation faible $R^2= 0,49$ en période d'étiage (petite saison sèche). La variabilité de la corrélation au cours des saisons a été mise en évidence par Blumm et al. (2014) dans les cours d'eau de Guyane. Il n'existe pas de relation universelle entre la turbidité et la concentration de MES (Truhlar, 1978, Thackston et Palermo, 2000 ;) Cette relation varie d'un cours d'eau à l'autre, voire d'un secteur de cours d'eau à l'autre, et d'une saison à l'autre et dépend également des caractéristiques géométriques et optiques des particules en suspension qui sont variables et hétérogènes (Ruban, 1995 ; Bertrand Krajewski et al., 2010).

CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

L'Agnéby et la Mé, deux rivières côtières, avec des bassins versants contiguës dans le nord sont d'importance capitale pour les populations riveraines. Le suivi journalier des teneurs en MES et turbidité montre des teneurs largement supérieures aux normes admises qui perdurent dans le milieu pour la Mé avec une dominance de la fraction minérale des MES. Dans l'Agnéby, seuls les mois d'octobre, de novembre, décembre et avril enregistrent des teneurs mensuelles dépassant les normes admises. Dans la majeure partie des cas, la fraction organique des MES l'emporte sur la fraction minérale avec des exceptions en avril (début de la grande saison pluvieuse).

L'évolution de la turbidité suit celle des MES. Toutefois, à l'exception de la Mé où il existe une bonne relation linéaire entre ces deux paramètres, cette dernière est faible dans l'Agnéby où la fraction organique des MES l'emporte sur la fraction minérale une bonne partie de l'année. Les fortes teneurs en MES relevées dans la Mé, à l'instar de certains cours d'eau ivoiriens sont favorisées par les activités d'orpillages clandestins pratiquées dans le bassin de la rivière. Ces activités compromettent le bon état du milieu aquatique et la santé des populations. Comme recommandation les autorités étatiques doivent agir le plus tôt possible pour mettre fin à ces

activités illégales d'orpaillage afin de restaurer le milieu aquatique pour que le projet d'alimentation en eau de la ville d'Abidjan depuis la Mé qui est en cours de réalisation soit viable pour le bonheur des populations. En perspectives, nous projetons d'étudier la nature

REMERCIEMENTS

Nous exprimons nos sincères remerciements aux Laboratoires de Physique et Géologie Marine du Centre de Recherches Océanologiques d'Abidjan, du Laboratoire des Sciences des Sols, de l'Eau et des

des MES au microscope et déterminer la taille des particules qui participent à la turbidité des eaux et également déterminer les différents teneurs en micropolluants organiques et minéraux de ces derniers.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adou M., Delor C., Siméon Y., Zamblé B. Z., Konan G., Yao B.D., Vidal M., Diaby I., Cautru J.P., Chiron J.C. Dommanget A. et Cocherie A., 1995. Carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200 000 ; Feuille ABENGOUROU, Mémoire de la direction des mines et Géologie N°7, Abidjan, Côte d'Ivoire, 19 p.
- Agbri L, Bamba S. B., Doumouya I. et Savane I, 2010. Bilan des flux de matières particulaires et dissoutes du Sassandra à Gaoulou pont (Côte d'Ivoire), *Sciences & Nature* Vol.7 N°2, pp 107 – 118.
- Aka N., Kouamé A.L. et Gboko Y. D. A., 2020. Suivi de la turbidité et des matières en suspension dans une rivière côtière : La Mé (Sud-est de la Côte d'Ivoire) Fich., Tech. & Doc. Vul. Centre Rech. Océan., Côte d'Ivoire, pp 30-37.
- ASEF Association Santé Environnement Française 2010. Pollution de l'eau : Origines et impacts – Synthèse, France, 7 P.
- Bash J., Berman C. H., Bolton S., 2001. Effects of turbidity and suspended solids on salmonids center for streamside studies, University of Washington, Seattle, WA, 72 p.
- Bertrand-Krajewski, J.L., Barraud, S., Kouyi, G.L., Torres, A. And Lepot, M. 2008 On-line monitoring of particulate pollutant loads in urban sewer systems: stakes, methods, example of application. *La Houille Blanche* (4), 49-57.
- Bertrand Krajewski, J.L., Joannis, C., Chebbo, G., Ruban, G., Metadier, M. And Lacour, C., 2010. Comment utiliser la turbidité pour estimer en continu les concentrations en MES et/ou DCO : Une approche méthodologique pour les réseaux d'assainissement. *TSM* (1-2), pp. 36-46.
- Blum. A, Rouzeau O, Guiraud A., 2014. Suivi de la turbidité des eaux de Guyane. État des lieux et recommandations/ Approche par télédétection, Rapport BRGM/RP- 616326FR, 162 p.
- Bilotta G.S. et Brazier R.E. 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota, *Water Research*, vol. 42, n°12, pp. 2849-2861.
- CCME – Conseil canadien des ministres de l'Environnement, 2002. Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique – Matières particulaires totales, dans *Recommandations canadiennes pour la*

- qualité de l'environnement, Winnipeg, CCME, 15 p.
- CEAEQ – Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2012. Détermination des solides en suspension totaux : méthode gravimétrique, MA. 104 – S.S. 2.0, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, 8 p. [En ligne]. [Http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA104SS2.pdf].
- Courtin-Nomade A. (2018). Comment concilier barrages et transport des sédiments?, Encyclopédie de l'Environnement, [en ligne ISSN 2555-0950] url : <http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=5718>
- Decamps H, Casanova-Batut, T., 1978. Les matières en suspension et la turbidité de l'eau dans la rivière Lot, *Annls Limnol.* 14 (1-2), 59-84. <http://www.limnology-journal.org> or <http://dx.doi.org/10.1051/limn/1978016>
- Delor C., Diaby I., Yao B., 1992. Notice explicative de la carte géologique à 1/200000. Feuille de Grand-Bassam, 1ère édition, 26 p.
- Downing, J. 2005. *Turbidity monitoring*, dans Down, R.D. et J.H. Lehr, *Environmental Instrumentation and Analysis Handbook*, Hoboken (New Jersey), John Wiley and Sons, pp. 511-546.
- Gboko Y. D. A., Aka N, Keumean KN et Soro N. 2022. Suivi de la qualité physico-chimique des eaux du Sassandra à la station hydrométrique de Gaoulou, Sud-ouest de la Côte d'Ivoire, *Afrique Sciences* 21(3) pp. 127 – 141.
- Hannouche A., Chebbo G., Ruban G., Tassin B., Joannis C., 2011. Relation entre la turbidité et les matières en suspension en réseau d'assainissement unitaire. *Techniques Sciences Méthodes, ASTEE/EDP Sciences*, 2011, 2010 (10), pp.42-51. Hal-00722663
- Heaft-Neal S., Burney J., Bendavid E., et al., 2020. Dust pollution from the Sahara and African infant mortality. *NatSustain* 3, PP 863-871 <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0562-1>
- Hébert S. & Légaré S., 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau. Québec, direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement, Envirodoq ENV-2001-0141, Rapport N0QE-123, 24 p. et 3 annexes.
- Lacour C., Joannis C., Gromaire M.C., Chebbo G., 2009b. Potential of turbidity monitoring for real time control of pollutant discharge in sewers during rainfall events ». *Water Science and Technology* ; 59 (8) : pp 1471-1478.
- Maréchal A. 2000. Relations entre caractéristiques de la pollution particulaire et paramètres optiques dans les eaux résiduaires urbaines. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, Génie des Procédés, Nancy, 284 p.
- MDDEFP – Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, 2013. *Critères de qualité de l'eau de surface, 3e édition*, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-68533-3 (PDF), 510 p. et 16 annexes. [En ligne]. [Http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp].
- MDELECC- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques et Environnement et Changement climatique Canada, 2016. *Recommandations pour la gestion des matières en suspension (MES) lors des activités de dragage.*, Québec. 64 pages et annexes.
- NF EN ISO 7027 - 2000 : Qualité de l'eau - Détermination de la turbidité, Afnor, Paris (France), 14 p.

- OMS 2017, Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4ème éd. Intégrant le premier additif [Guidelines for drinking-water quality : 4th ed. incorporating first addendum]. Genève : Organisation mondiale de la Santé. Licence : CC BY-NC-SA 3.0 IGO, (2017) 564 p.
- OMS, 1996. Guidelines for drinking water quality, 2^e éd., Vol.2: Health criteria and other supporting information. Organisation Mondiale de la Santé, Genève.
- PLANGIRE-Plan d'action et de Gestion Intégrée des Ressources en Eau de la Côte d'Ivoire, Tome 1. 2022. État des lieux des ressources en eau et du cadre de gestion, *Min. des Eaux et For., Côte d'Ivoire*, 93 p.
- PREMU-Projet de Renforcement de l'Alimentation en Eau potable en Milieu Urbain. 2017. Renforcement de l'Alimentation en eau potable dans les centres urbains d'Agboville : Constat d'Impact Environnemental et Social, *Rapport Final, Off. Nat. Eau Potable, Min. Inf. Ec. Côte d'Ivoire*, 170 p.
- SEQ-Eau- Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau. 2003. Grilles d'évaluation version 2, *Agence de l'Eau, Min. Env. Dev. Dur., France*, 40 p.
- Sow A.M. 2018. Hydrologie et géochimie des transports fluviaux dissous et particuliers dans le bassin versant du Milo (République de Guinée) Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France, 182 p.
- Tardy Y. 1986. Le cycle de l'eau. Climats, paléoclimats et géochimie globale. Masson, Paris, 338 p.
- Thackston, EL et Palermo M. R. 2000. Improved Methods for Correlating Turbidity and Suspended Solids for Monitoring, Vicksburg (Mississippi), *U.S. Army Engineer Research and Development Center*, 10 p. (DOER Technical Notes Collection). [ERDC TN-DOER-E8].
- Thayer B.B., Riahi K. et Boudhraa H., 2007. Elimination de la turbidité par oxygénation et filtration successives des eaux de la station de Sfax (Sud-est de la Tunisie), *Revue des Sciences de l'eau*, 20(4), pp 345-365.
- Truhlar, J. F., 1978. « Determining suspended sediment loads from turbidity », *Hydrological Sciences Journal*, vol. 23, no 4, p. 409-417.
- US EPA (1999) Guidance manual for compliance with the interim enhanced surface water treatment rule: turbidity provisions. United States Environmental Protection Agency (EPA 815-R-99-010), pagination multiple.
- Versini P. A., Joannis C. et Chebbo G., 2015. Guide technique sur le mesurage de la turbidité dans les réseaux d'assainissement. Onema, Coll. *Guides et protocoles*, 78 pages.
- Wilber, D. H. et Clarke D. G., 2001. « Biological effects of suspended sediments: a review of suspended sediment impacts on fish and shellfish with relation to dredging activities in estuaries », *North American Journal of Fisheries Management*, vol. 21, n° 4, p. 855-875.
- Yu H, Chin M., Yuan T, Blan H., Remer LA., Prospero JM, Omar A., H., Winker D. M. Yang Y., Zhang Y., Zhang Z., Zhaon C 2015. Saharan Dust fertilizing Atlantic Ocean and amazon rainforest via longrange transport and deposition/ perspective from multiyear satellite measurements American Geophysical Union fall meeting, abstract id., EP42A-05.