



GOUVERNEMENT
DE LA RÉPUBLIQUE
DU BÉNIN



RÉPUBLIQUE TOGOLAISE

ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL (EIES) DU PROJET DE PROTECTION DU SEGMENT DE COTE TRANSFRONTALIER ENTRE AGBODRAFO AU TOGO ET GRAND-POPO AU BENIN



Rapport final

CHAPITRE IV. DESCRIPTION DU MILIEU RÉCEPTEUR DU PROJET

4.1. SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude s'étend de Agbodrafo à Sanvee-condji au Togo (18km) en passant par Aného, et de Hillacondji à Grand-Popo au Bénin (23 km) en passant par Agoué



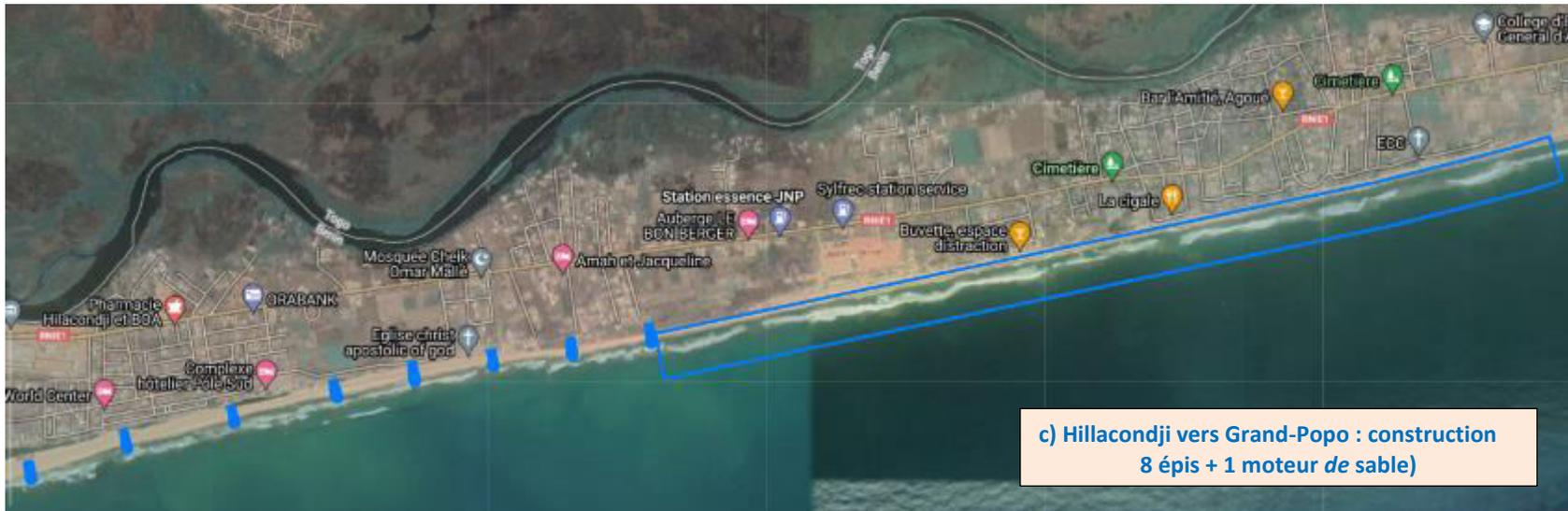


Figure 1 : zone d'étude entre le Bénin et leTogo

a) situation des ouvrages envisagés entre Aného et Sanvee-condji (réhabilitation de 6 épis + 1 brise-lame); **b)** situation des ouvrages envisagés entre Agbodrafo et Aného (7 épis); **c)** situation des ouvrages envisagés Hillacondji à Grand-Popo (8 épis + 1 moteur de sable). Source: Artélia & BCI consult,2020 ; modifiée par ACL Consultant et INROS LACKNER, juin 2021

Ces deux pays sont limités au Sud par l'océan Atlantique avec une côte longue de 175 km (125 km au Bénin et 50 km au Togo). Le présent projet prend en compte le segment de côte transfrontalier comprenant un segment de 23 km au Bénin et un segment de 18 km au Togo. Ainsi, il s'étend de Gbècon au Bénin jusqu'à Agbodrafo au Togo. Plus précisément au niveau du Togo, seules les deux localités d'Agbodrafo et d'Aného sont concernées pour l'instant par les travaux faisant l'objet de la présente étude d'impact environnemental et social approfondie.

La zone du projet est localisée dans la Préfecture des lacs au Sud-Est du Togo dans les Communes des Lacs 1 et 3, ayant respectivement pour Chef-lieu Aného et Agbodrafo et dans la commune de Grand-popo au Bénin.

Par référence aux études de la Mission d'Observation du Littoral Ouest-Africain (MOLOA), la zone du projet s'étend sur les secteurs TG1-e au Togo, puis, BJ1-a et BJ1-b au Bénin (figure 2).

Le secteur **TG1-e** se caractérise par la présence d'un cordon littoral sableux de faible élévation limité à l'Est par l'embouchure de l'exutoire du lac Togo et au Nord par l'exutoire – chenal du lac. Le secteur, en érosion, accueille un habitat de densité variable, intensifié au niveau d'Aného. Les ouvrages de protection rigides notés comprennent : un lot de 5 épis et 1 brise lame réalisés en 1987 ; une série de 9 épis (dite de l'UEMOA) installée à l'ouest du premier segment protégé ; le système d'enrochement sur 500 m de l'embouchure d'Aného, financé par l'UEMOA en 2010, qui a donné lieu à un petit port de pêche. Il est constaté que, malgré la saturation des épis, on observe une érosion intense à l'est de l'embouchure d'Aného. Aussi, à l'ouest, la mer recule énormément menaçant une école primaire à Agbodrafo.

- sur le segment **BJ1-a**, on note des terrasses côtières étroites bordées par l'océan au Sud et les lagunes et chenaux continus au Nord, habitées d'îlots de cocoteraie séparés par des zones à habitat peu dense, traversée par une route littorale en général à l'écart de la plage, mais localement trop proche de l'océan.
- sur le segment **BJ1-b**, on observe un vaste complexe de chenaux, lagunes, zones humides, milieux à eaux douces et saumâtres, connectés en saison des crues au Mono et au Couffo. Le cordon littoral est localement très étroit, accueillant un habitat rural localement à risque élevé. Ce cordon est interrompu au niveau de l'exutoire et ses lagunes, la dynamique de l'embouchure dite « Bouche du Roy » ayant été fortement affectée par la mise en place du barrage de Nangbéto sur le Mono en 1987.
- le secteur BJ1-a, comme BJ1-b, est actuellement exempt de toute infrastructure rigide de protection du rivage. Par contre, il est sous l'influence des épis qui ont été érigés au Togo dans la ville d'Aného. On observe, dans certaines zones, un recul parfois important du rivage.

Il faut souligner que dans le cadre du présent sous-projet, aucun ouvrage ne sera réalisé dans le secteur BJ1-b.

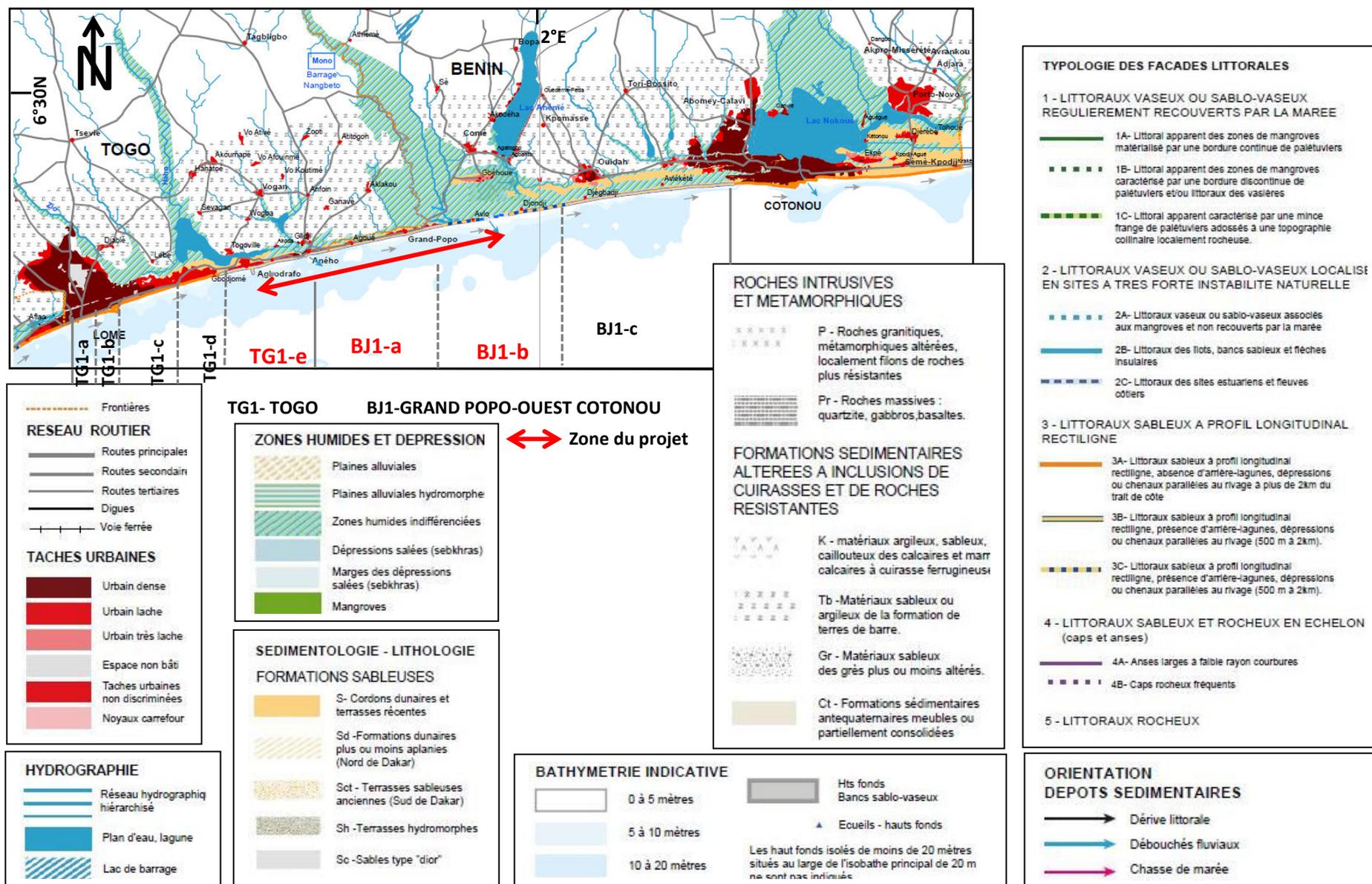


Figure 2: Carte montrant la localisation de la zone du projet. Source : UEMOA (2011). Réalisée par Adéchina (2021)

4.2. DETERMINATION DE LA ZONE D'EMPRISE DU PROJET

A partir des contraintes de manœuvrabilité des engins de génie civil autour de l'aire de construction de chaque épi, de l'envergure de chaque épi, déterminée par l'étude de faisabilité technique, considérant le Domaine Publique Maritime (DPM) et les expériences passées, cette étude propose une bande de 150 mètres de large sur une longueur de 41 km entre le premier épi du côté Bénin (Epi n°8 à Grand Popo) et le dernier épi côté Togo (épi TO n°28 à Agbodrafo).

Dans cette bande, une largeur de 60 mètres a été retenue à partir de la racine des épis par les équipes de relevés immobiliers et d'enquêtes socioéconomiques pour les premiers recueils de données. Cette opération a pris en compte les personnes affectées par le projet (PAP) d'une part et au demeurant celles qui pourraient être sous l'influence des nuisances et qui se situent au-delà de ladite zone.

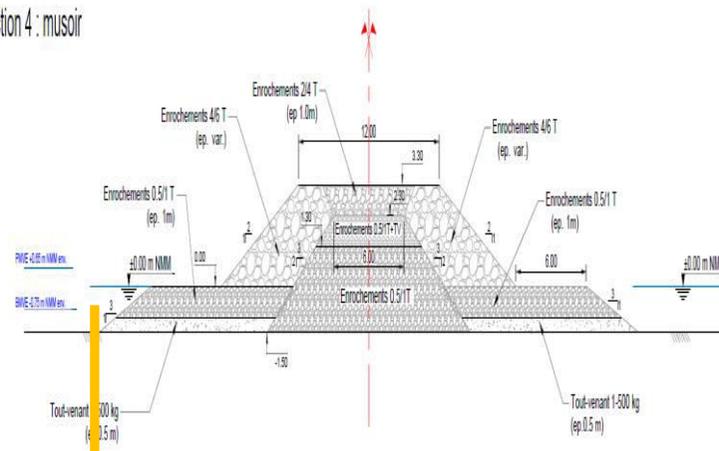
Sur la base de l'intensité des impacts attendus des travaux, une zone d'impacts direct et une zone d'influence indirecte ont été définies. Au droit de chaque épi, une distance de 100 m (60 mètres de zone de manœuvre des engins de génie civil et 40 m constituant la racine des épis). a été considérée pour cette étude. Une auréole a été réalisée autour de chaque épi dans la zone des travaux pour prendre en compte les biens affectés.(Figure 6).

Les figures 3 et 4 donnent les détails de l'emprise retenue pour cette étude.

Pour chaque épi, la Longueur de la zone considérée est égale à 175 mètres soit 60m à gauche de l'épi, 55m pour l'envergure de l'épi et 60 m à droite de l'épi. En d'autres termes, en admettant qu'au niveau du musoir de chaque épi nous avons environ 55 mètres pour l'ouvrage lui-même et 60 mètres de part et d'autre. La largeur de cette distance est égale à :

$$[55 + (60 \times 2)] = 175 \text{ mètres.}$$

Section 4 : musoir



**Zone de manœuvr
e des
engins de**

**Zone de manœuvr
e des
engins de**

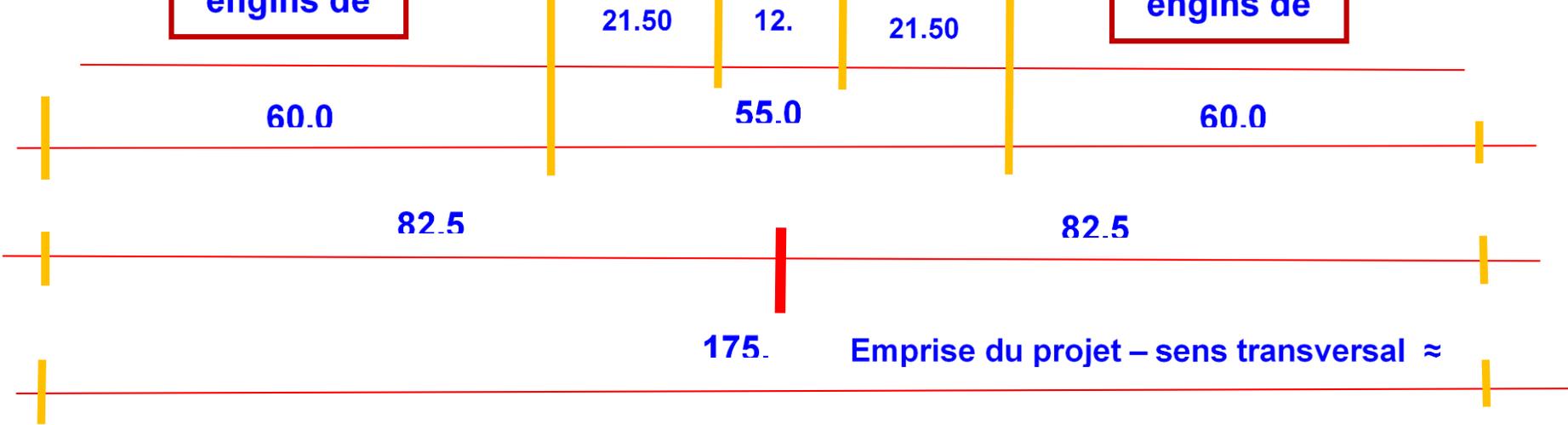


Figure 3 : Emprise du projet – sens transversal ≈ 175 m
 Source : Artelia, 2020 complété par Léandre ACCALOGOUN, 2021

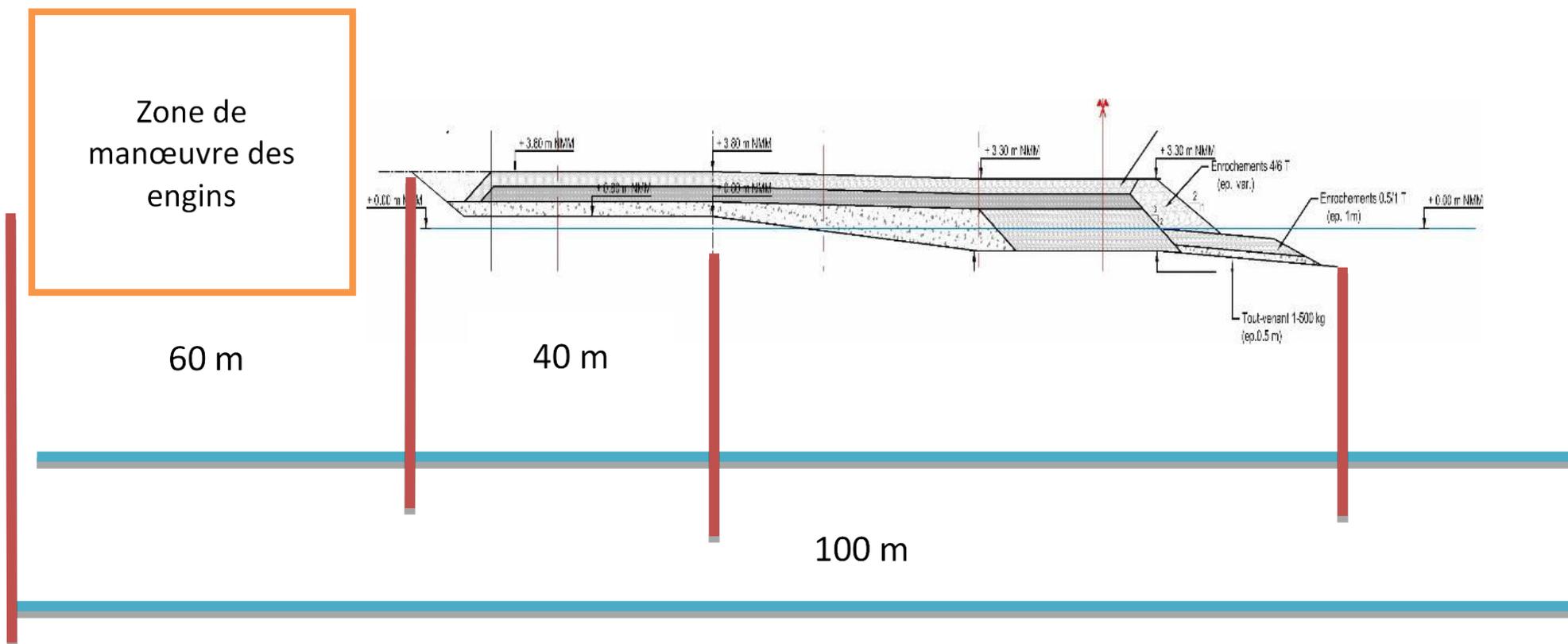


Figure 4 : Emprise du projet – sens longitudinal ≈ 100.00
 Source : Artelia, 2020 complété par Léandre ACCALOGOUN, 2021

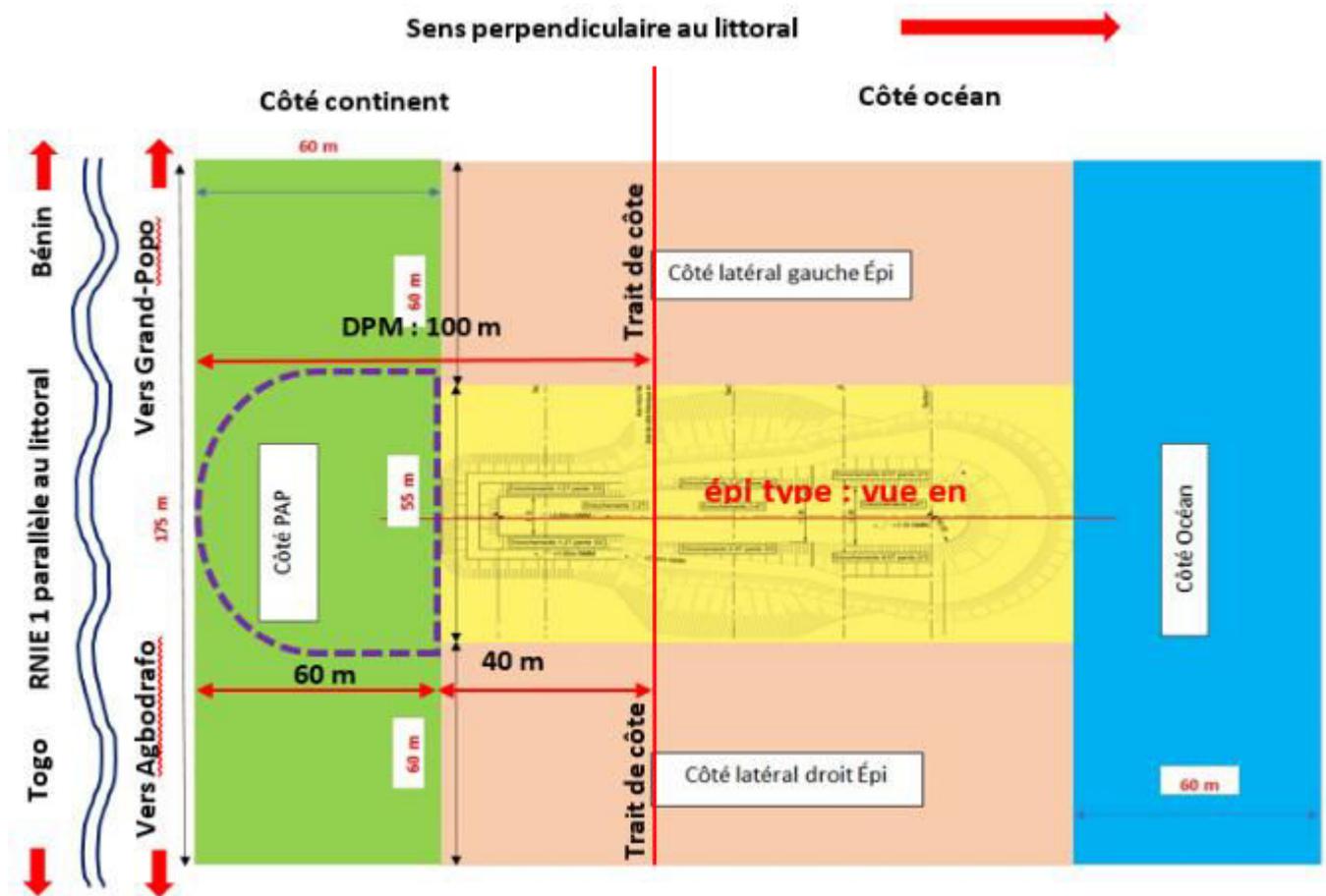


Figure 5. Zone de manoeuvre des engins de génie civil lors de la construction des épis
 Source : Artelia, 2020 complété par Léandre ACCALOGOUN, 2021

- NB :**
1. Les nouvelles côtes de définition de la zone d'étude ne sont pas à l'échelle. Nous avons coupé les distances de 60 m afin que la figure soit mieux lisible.
 2. La zone de manoeuvre des engins de génie civil définit la largeur de la zone d'étude du projet.

Les analyses ont été faites en retenant deux zones de contact avec les ouvrages : la zone d'impact ou d'influence directe et la zone d'influence diffuse présentées dans la figure 6 ci-dessous.

La zone d'impact (partie en rose sur la figure 6) constitue le premier réceptacle ou la zone de contact direct avec les ouvrages et les activités du projet. Elle tient compte de la racine des épis à l'intérieur de la terre qui est de 40 m environ et de la zone de manoeuvre des engins de BTP lourds lors de la fouille et l'enrochement de sécurité qui est de 60 m. L'objectif est de localiser les impacts sur une auréole de 60 mètres autour de chaque épi. Cette zone d'impact est celle retenue pour le recensement des personnes affectées par le projet (PAP) considérées dans le plan d'Action de Réinstallation. Elle a été retenue en prenant en compte le domaine public maritime (DPM) et délimitant un rayon de 150 mètres en partant de la racine des épis vers l'intérieur des terres.

En effet, la présente étude a déterminé une zone d'impact permanent constituée par l'espace occupé par l'épi lui-même et la zone d'impact temporaire qui est la zone de manœuvre des engins de génie civils pour la réalisation des ouvrages. Quand aux personnes situées dans la zone d'influence diffuse, elles ne seront pas réinstallées. Toutefois, des mesures de sécurités telles que l'isolement du chantier par des clôtures permettant de minimiser les risques d'accident. Ainsi, la présente EIES proposera toutes les mesures nécessaires pour garantir la sécurité de ces personnes et des biens qui se trouveront à proximité des chantiers lors des travaux.

La bande côtière qui sera occupée par le moteur de sable (long de 4 km sur 200 m) sera quant à elle, dégagée lors du rechargement. La figure 7 montre l'emprise des travaux au niveau de cette zone.

La figure 8 montre une vue globale de l'emprise des travaux au Bénin qui est occupée par les huit épis, les zones de stockage des enrochements, les voies de circulation et le moteur de sable. Sur cette figure, on constate clairement que des PAP vont se trouver entre les casiers des épis étant donné que toute la bande côtière en chantier ne sera pas dégagée. Cependant avec la position des zones de stockage des enrochements, il faudra considérer le déplacement des PAP se trouvant dans les casiers entre les épis BE-01 et BE-02 et les épis BE-05 et BE-06.

Les figures 9, 10 et 11 montrent l'emprise occupée par les ouvrages au Togo y compris les voies d'accès et les aires de stockage des enrochements.

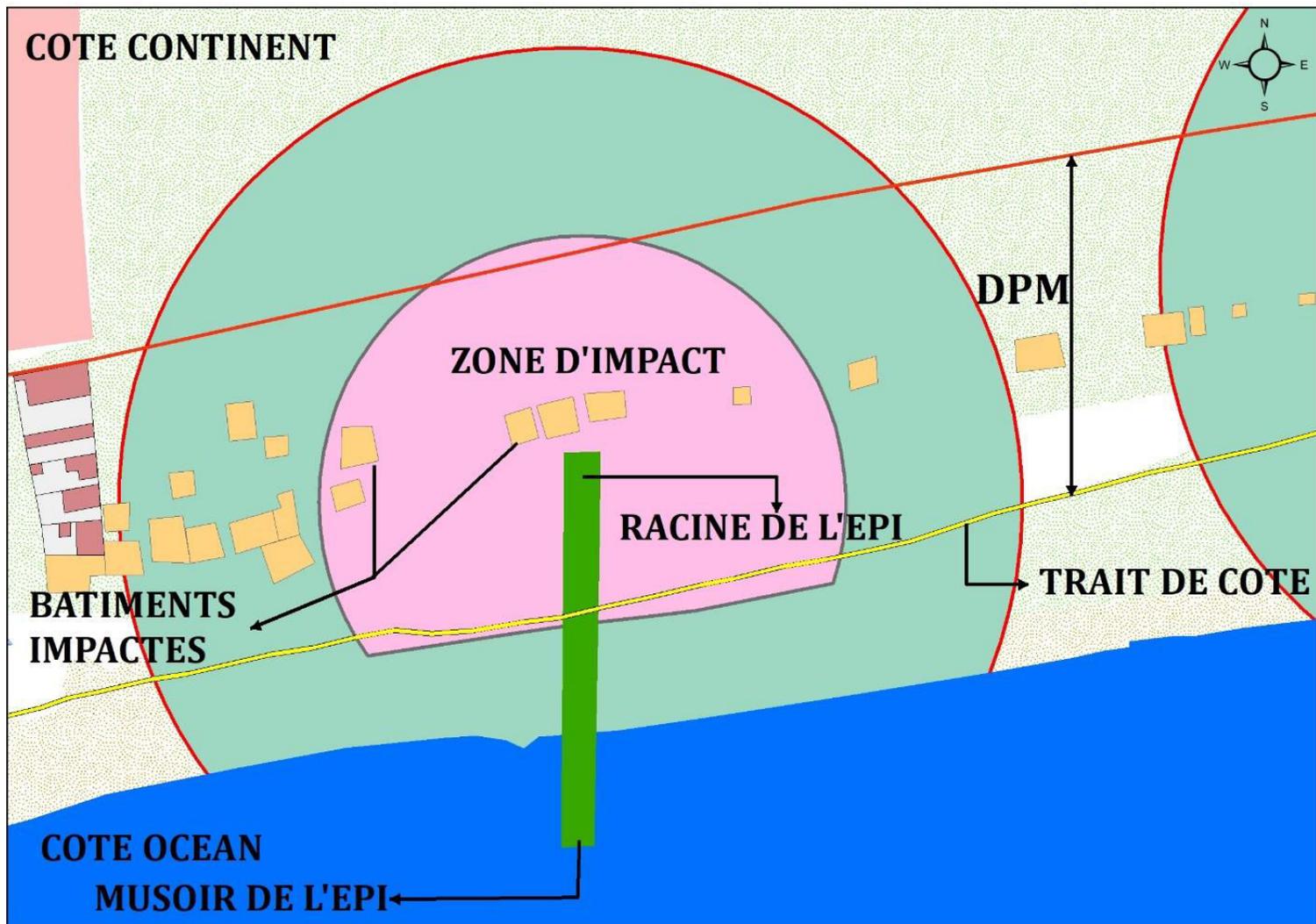


Figure 6: Exemple d'épi montrant les zones d'impact et d'influence
 Source : ACL Consultant et INROS-LACKNER, juin 2021

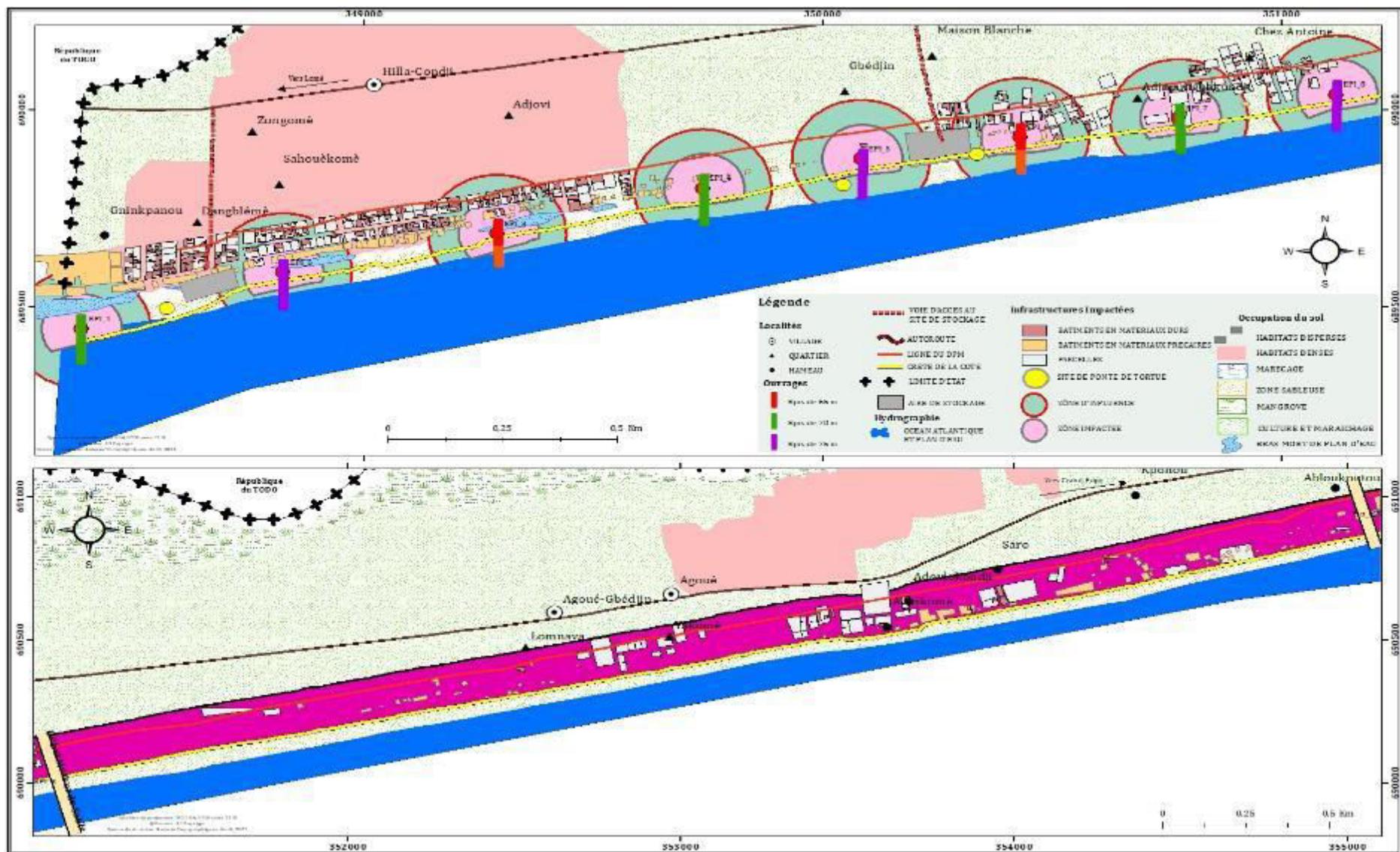


Figure 8: zone d'emprise des ouvrages au Bénin
 Source : Travaux de terrain, ACL Consultant & INROS-LACKNER, 2021

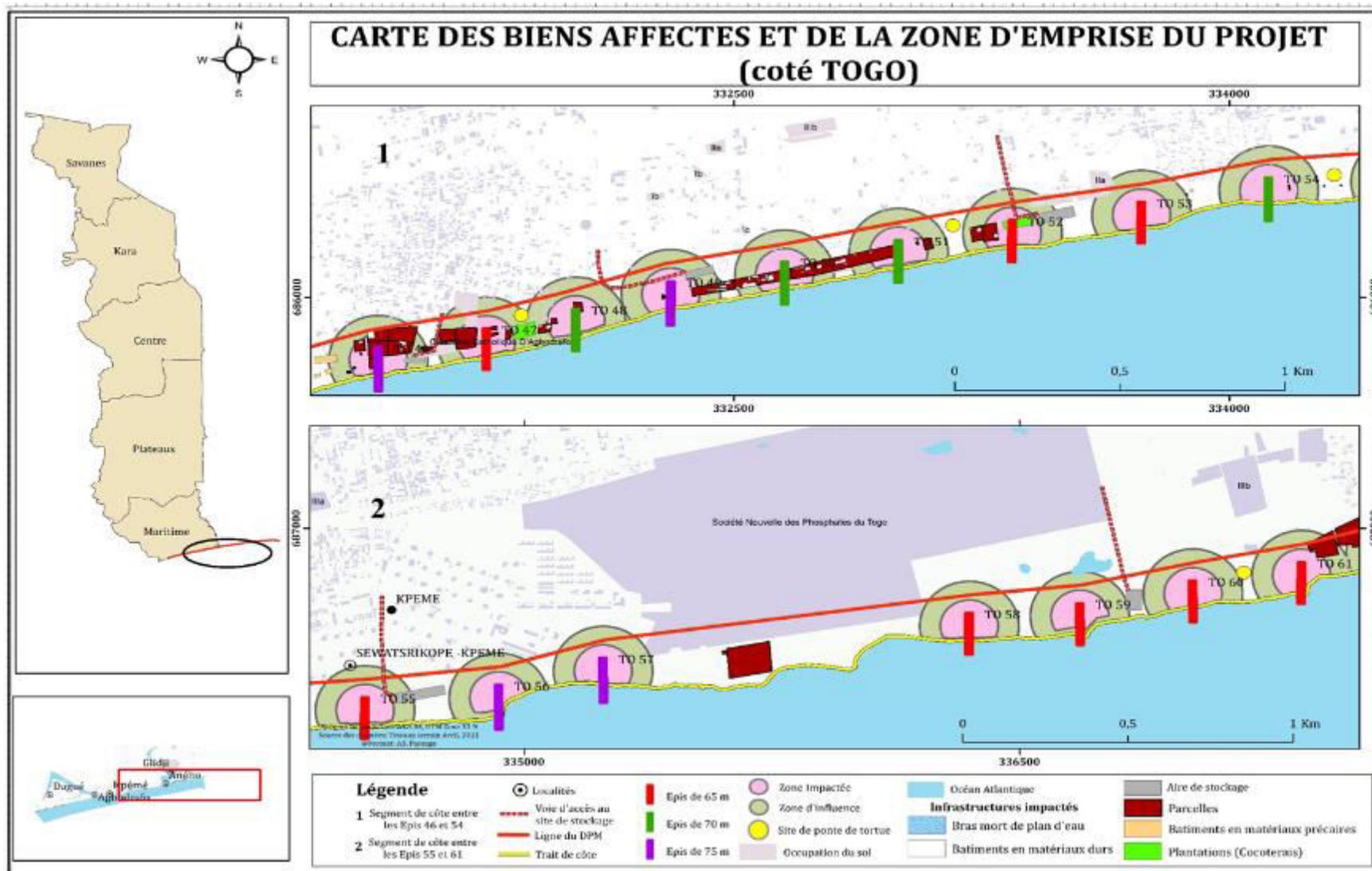


Figure 9 : Zone d'emprise des ouvrages au Togo (épis N° 46 à 61)
 Source : Travaux de terrain, ACL Consultant & INROS-LACKNER, 2021

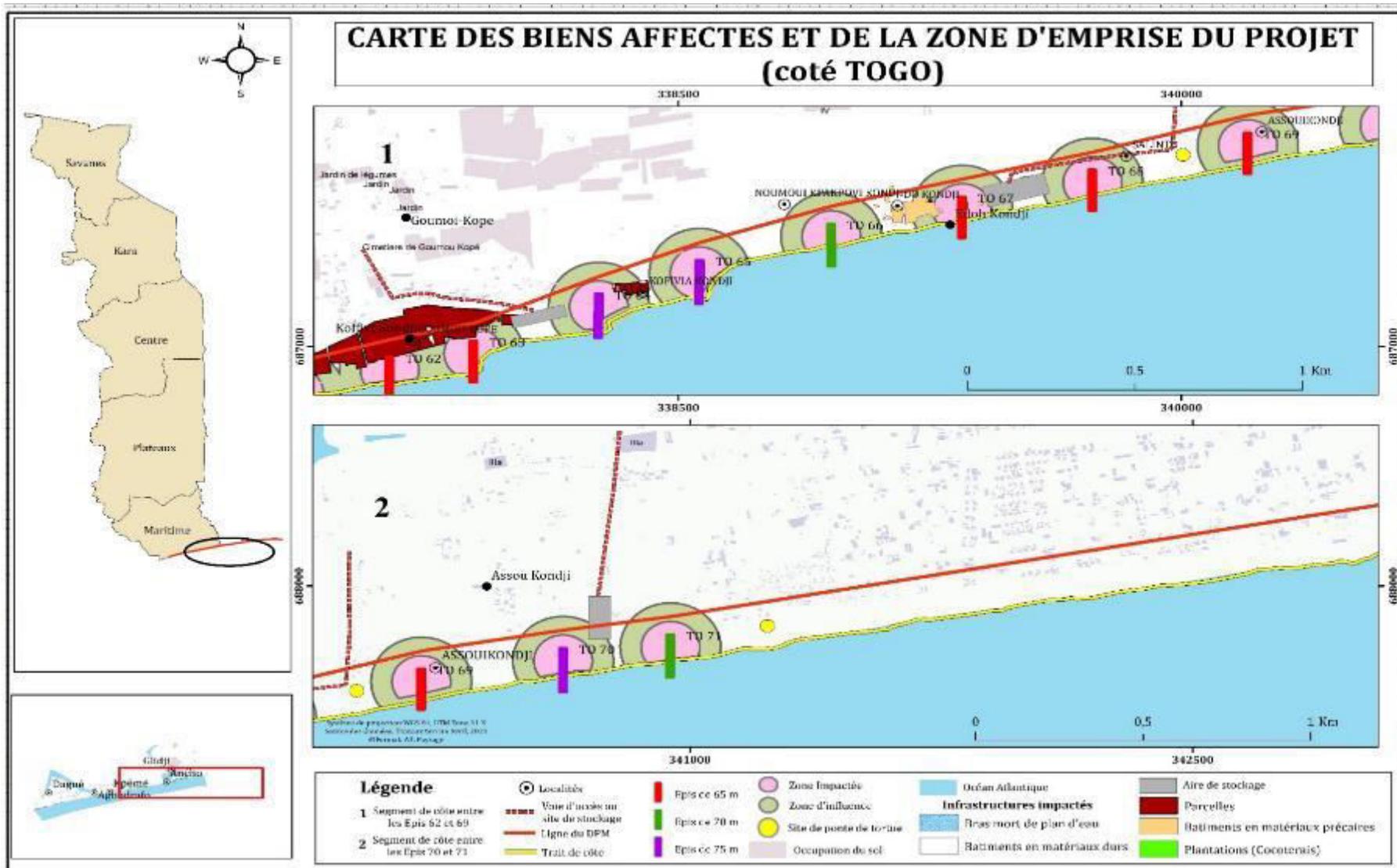


Figure 10 : Zone d'emprise des ouvrages au Togo (épis N° 62 à 71)
Source : Travaux de terrain, ACL Consultant & INROS-LACKNER, 2021



Sur la figure 10, on constate qu'il y a de nombreuses PAP et de biens affectés au niveau des zones d'impact des épis de TO 46 à TO 52 (les nouveaux épis à construire) et entre les épis TO 72 à TO 73 (épis à rallonger). La décision de déplacer les PAP qui se trouvent uniquement dans les zones d'impact des ouvrages permet de réduire le nombre de personnes à déplacer et par ricochet le coût du PAR. Cependant, il est utile de préciser que des dispositions doivent être prises également lors des travaux et surtout au moment du rechargement des casiers. Il s'agit principalement des risques d'accident qui peuvent être gérés par des mesures de sécurités collectives et individuelles et notamment l'isolement du chantier, la sensibilisation des riverains sur les risques d'accidents.

4.3. MILIEU PHYSIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

4.3.1. CLIMAT

Le climat de la zone côtière du Bénin et du Togo est de type subéquatorial humide. Les deux pays ont donc des traits communs du point de vue climatique. Ils sont sous l'influence de l'océan Atlantique d'une part ; et ont deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches de durées inégales, d'autre part.

4.3.1.1. Précipitations

Du côté du Bénin, dans la région de Grand-Popo, il y a une alternance annuelle de quatre saisons distinctes et d'inégales durées (voir régime pluviométrique de Grand-Popo à la figure 12) :

- une longue saison des pluies qui s'étend de avril à juillet et débute par des orages et vents humides soufflant du Sud-ouest. L'humidité durant cette saison est très élevée.
- une courte saison sèche survient soudainement en août. L'humidité durant cette saison est toujours élevée.
- une courte saison des pluies survient par suite de la réduction des vents au sud du huitième parallèle et de l'affaiblissement des courants béninois entre septembre et novembre. L'humidité reste toujours élevée.
- une longue saison sèche qui va de décembre à mars, caractérisée par des brises et le vent de harmattan provenant de l'anticyclone libyen. Le vent est faible et l'humidité est relativement basse.

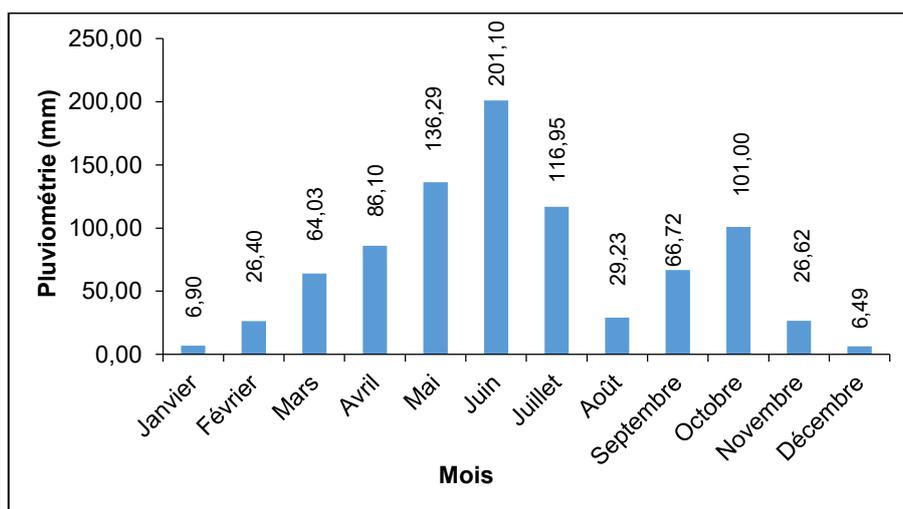


Figure 12: Régime pluviométrique moyen mensuel (1989-2019) de la Commune de Grand-Popo

Source : CORDE-ONG, 2020 (source de données DNM 2019)

La pluviométrie suit un gradient régulier décroissant d'Est en Ouest (1500 mm/an à Sèmè, 1300mm/an à Cotonou, 1100 mm/an à Ouidah et 900mm/an à Grand-Popo).

Au niveau du Togo, les précipitations annuelles oscillent entre 800 et 1400 mm réparties entre les deux saisons de pluie : une grande allant de mars/avril à fin juillet et une petite allant du début septembre à la mi-novembre alternant avec deux saisons sèches (une grande, de novembre à mars et une petite, de juillet à septembre. Le nombre de jours de pluie varie de 130 à 240 avec une humidité relative généralement forte fluctuant autour d'une moyenne de 90% et une température moyenne annuelle de 27°C (MERF, 2015 p.7). La figure 13 présente le diagramme ombrothermique de la ville de Lomé qui présente les mêmes caractéristiques climatiques que les communes des Lacs 1 et Lacs 3.

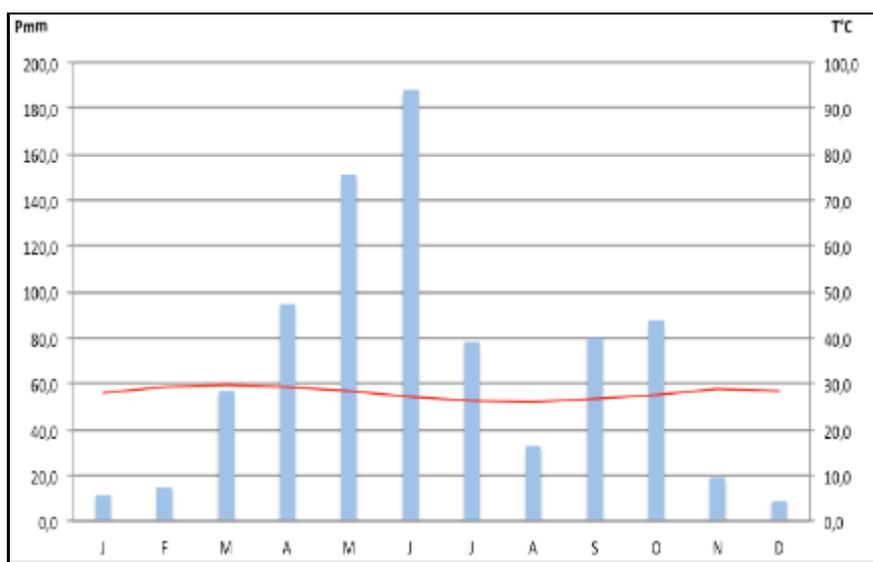


Figure 13: Courbe ombrothermique de Lomé

Source : Direction de la météorologie nationale, 2020

Il ressort de la figure 13 que la température moyenne annuelle est effectivement en dessous de 30°C. Par ailleurs, la côte bénino-togolaise est anormalement sèche (800-1500 mm/an ;

Toffi, 2008), ce qui explique l'absence de forêts denses à ces latitudes, contrairement à la Côte d'Ivoire et à au Nigéria situés aux mêmes latitudes (Dahomey - gap).

4.3.1.2. Température, humidité évapotranspiration

Bien qu'elles dépendent de la durée de l'insolation et de l'influence maritime, les variations thermiques dans la zone côtière du milieu d'étude restent faibles ; la moyenne annuelle se situe entre 23 °C et 32 °C pour les deux pays (Inros Lackner, 2015 ; Norda Stelo et BCI Consults, 2016).

La figure 14 montre l'évolution de la température moyenne annuelle au cours des trente dernières années dans la commune de Grand-Popo. En raison de l'absence de station synoptique dans la zone, ce sont les données de la station synoptique de Cotonou, station synoptique proche de Grand-Popo qui ont été prises en compte.

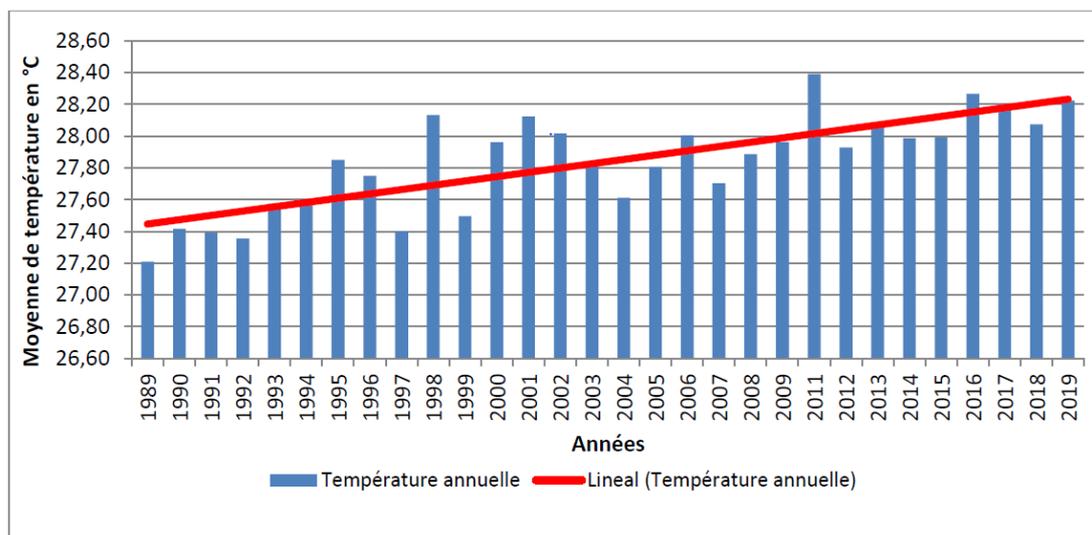


Figure 14 : Evolution de la température au cours des trente dernières années dans la Commune de Grand-Popo

Source : CORDE-ONG, 2020 (source de données DNM 2019)

Cette figure révèle une tendance à la hausse de la température au fil des années. Elle passe de 27°C en 1989 à 28°C en 2019 avec un pic en 2011 (28,40°C). Les températures maximales sont relevées généralement au cours du mois de février, qui correspond au pic de la saison sèche. Les minimas sont souvent en août. De même au Togo, les maximas élevés sont enregistrés en saison sèche, et les minimas faibles en saison pluvieuse.

L'humidité relative moyenne varie de 80 à 85 % au Bénin (Norda Stelo et BCI Consults, 2016) et de 70 à 85 % au Togo (tableau 16) (Inros Lackner, 2015).

Au Bénin, l'évapotranspiration varie de 3,33 mm/jour en juillet à 5,33 mm/jour en février, avec une moyenne annuelle de 4,24 mm/jour. L'insolation totale annuelle avoisine les 1700 heures.

Au Togo, l'évapotranspiration est supérieure à la pluviométrie, ce qui se traduit par une déficience en humidité dans toute la zone avec pour conséquence l'existence d'une végétation de savane. Tout comme la température, l'évapotranspiration atteint son maximum au mois de mars et le minimum en juillet, ce qui correspond respectivement aux saisons sèches et pluvieuses. Elle est plus élevée sur la côte qu'à l'intérieur.

Tableau 16 : Caractéristiques climatiques du littoral togolais (Lomé: 1971 – 2013)

Caractéristiques	Moyenne Annuelle	
	Minimum	Maximum
Moyenne annuelle des températures (°C)	26,30	28,78
Précipitations (mm/an)	423,9	1416,7
Humidité (%)	78	84
Insolation (h/j)	5,9	6,6
Evapotranspiration (mm)	1455,3	1638,7
Vitesse du vent (m/s)	2	4

Source : Direction Générale de la Météorologie Nationale, 2014 cité par INROS-LACKNER (2015)

4.3.1.3. Vents

Des données ont été acquises auprès de GlobOcean par ARTELIA dans le cadre du projet, afin de disposer des historiques à long terme (27 années sur la période du 1er janvier 1992 au 31 décembre 2019). Des paramètres réduits d'états de mer incidents ont été obtenu en deux (2) points au large (points PT1 et PT2 sur la figure 15).

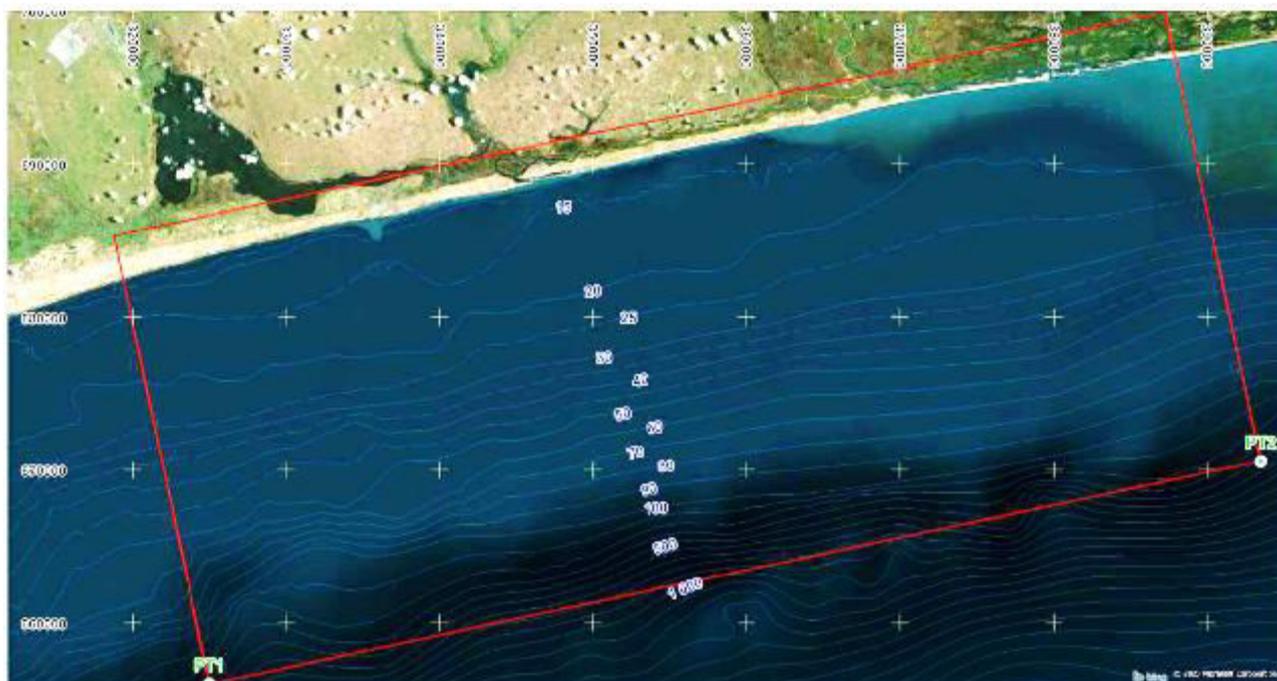


Figure 15 : Localisation des points PT1 et PT2

Source : Artelia, 2020

Les roses des vents, issues de l'analyse statistique aux points au large PT1 et PT2 sont présentées par la figure 16.

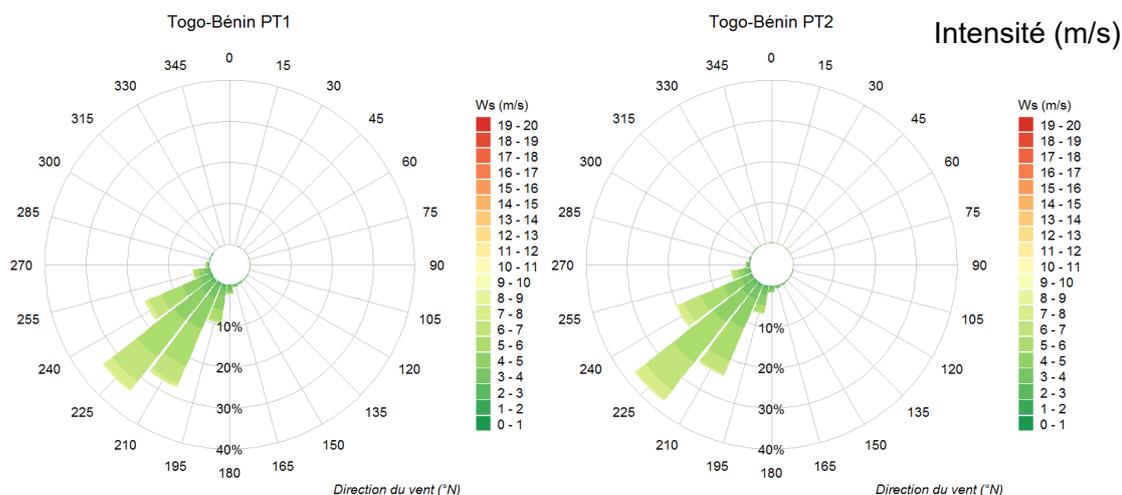


Figure 16 : Roses des vents obtenus aux PT1 et PT2 à partir des données de vent de Globocéan sur la période du 1er janvier 1992 au 31 décembre 2019

Source : Artelia, 2020

Ces résultats sont en cohérence avec la bibliographie : d'après ACL Consultant (2017), les vents qui soufflent sur la zone d'étude en toute saison sont de secteur SW (98% de l'année) et d'intensité moyenne mensuelle de 2 à 4 m/s. Les vents du Sud (vents de direction SW à SSW) sont particulièrement fréquents en été (d'octobre à mars), les vents d'Ouest (vents de direction W à WSW), moins fréquents, soufflent surtout pendant l'hiver austral (juillet et août) (Laïbi, 2011).

D'autres vents tels que les alizés du NE (l'Harmattan) n'interfèrent que faiblement entre novembre et mars : ce sont les vents mineurs (Laïbi, 2011).

Au Togo, les vents sont en général du Sud-Sud-Ouest et Sud-Ouest, parallèles à la côte, soufflant en toutes saisons avec une vitesse moyenne mensuelle de 2 à 4 m/s (tableau 8). Des vents locaux dus au réchauffement différencié des eaux océaniques et du continent sont également observés de même que des vents du NE appelés Harmattan (Antea group, 2017).

Dans la sous-région, les circulations atmosphériques et océaniques représentent les principaux mécanismes de transfert convectif de chaleur des zones équatoriales vers les pôles, modulant donc le climat terrestre (Bourles *et al.*, 2004). En effet, les forçages de l'océan tels que les houles, les marées, les courants, la dérive littorale et les vagues, qui se manifestent de façon synchrone sur toute la côte du golfe de Guinée (PNUE, 2007), influencent la dynamique hydrosédimentaire de la zone du projet.

4.3.1.4. Houles

Les houles du golfe de Guinée sont longues et bien formées ; leur zone de génération se situe entre les latitudes 40° et 60° sud de l'Atlantique Sud. La hauteur moyenne est de 1 m à



1.5 m ; en juillet-août-septembre, la hauteur maximale varie entre 2 et 3 m avec une période de 10 à 15 s (PNUE, 2007). Trois types d'agitation sont distingués (Anteagroup, 2017) :

- les houles longues, de périodes supérieures à 10 s, sont générées par les vents sur des fetchs de plusieurs milliers de km ;
- les mers de vents, de périodes de l'ordre de 5 à 10s, sont moins régulières que les houles et sont dues à l'action des vents à l'échelle régionale (fetchs de quelques centaines de km) ;
- et les clapots ont des périodes très courtes, inférieures à 5 s et se forment sous l'action des vents locaux (fetchs de quelques kilomètres à dizaines de kilomètres).

Des climats de houles sur le littoral du Togo et du Bénin ont été simulés à partir des logiciels SWAN v40.80 (Simulating WAVes in the Nearshore) pour la côte et WaveWatch III v5.16 pour des secteurs au large. Il ressort que le climat de houle est dominé par les houles du S-SSW (ARTELIA-BCI Consult, 2020b). Il s'agit des houles à longue crêtes avec une longue période et une propagation directionnelle étroite produite par des orages distants dans l'océan Atlantique Sud. La comparaison entre le climat normal à la côte au point P130 avec le climat au large au point L200 (figures 17 et 18) montre qu'au cours de la propagation les effets de réfraction tendent à resserrer fortement l'intervalle directionnel (la localisation des points P130 et L200 est fournie dans le rapport d'Etude d'avant-projet sommaire). Le secteur sud-sud-ouest du large est ici centré sur le sud. Les directions de houles s'accordent avec celles issues, des données acquises aux larges PT1 et PT2 auprès de GlobOcean ; ARTELIA-BCI Consult, 2020a). Les données fournies par la NOAA entre 2005 et 2015 au large du Bénin révèlent que toutes les directions des houles dont la hauteur significative est supérieure à un mètre sont comprises entre 160° et 230° (NORDA, 2016). De ces conditions persistantes de houle du S-SSW, combinées avec l'orientation de la côte, résultent un très grand transport de sédiment le long du rivage de l'ouest à l'Est.

Au niveau des épis à réaliser, la réfraction de la direction de propagation des houles près des côtes, pourrait non seulement contribuer au reprofilage des casiers, mais engendrait également un départ des sédiments à l'aval des épis. Tel a été le cas de l'érosion enregistrée entre Gbodjomé et Kpémé suite à la construction du port de Lomé, puis entre Hilacondji et Agoué après la réhabilitation des épis d'Aného.

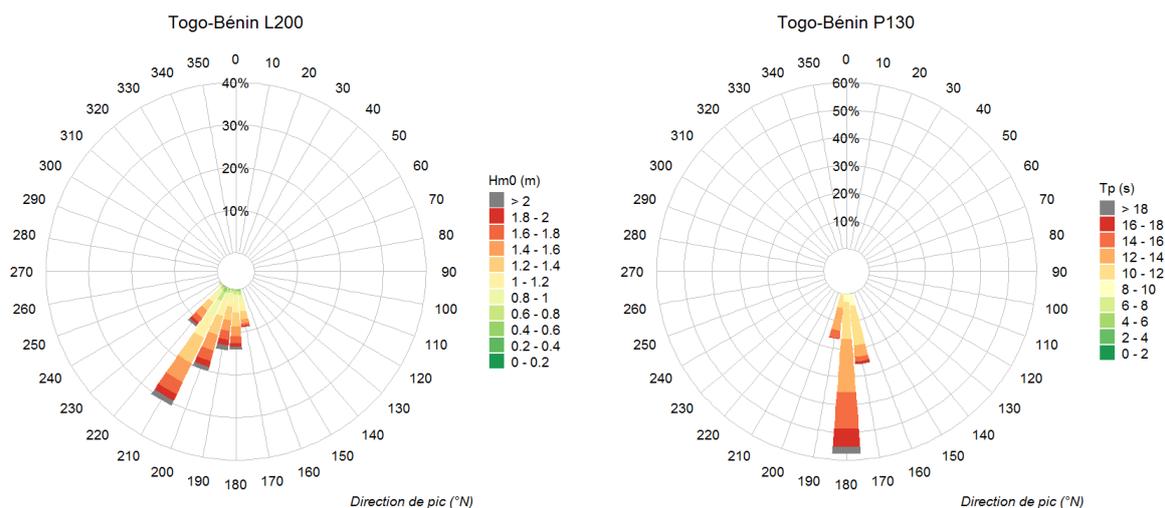


Figure 17: Répartition directionnelles des houles au large (L200) et à la côte (P130), roses de houle

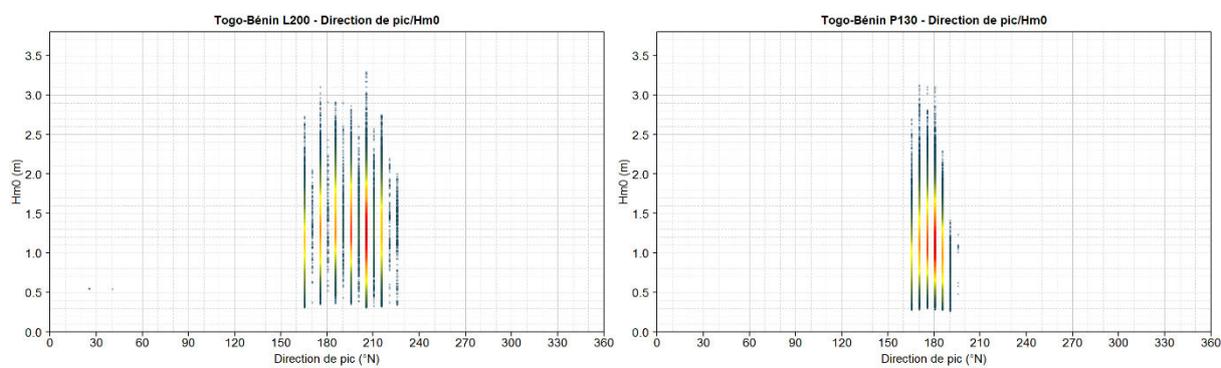


Figure 18 : Répartition directionnelles des houles au large (L200) et à la côte (P130), correlogrammes

Les houles extrêmes de dimensionnement des ouvrages ont été calculées à la côte à la limite de la zone de déferlement, puis propagée avec un code de calcul spécifique dans la zone de déferlement jusqu'en pied d'ouvrage (ARTELIA-BCI Consult, 2020b) (tableau 17).

Tableau 17 : Houles et niveaux d'eau de conception

	Hauteur significative $H_{1/3}$ [Profondeur -2.72 m NMM]	Niveau d'eau extrême associé
Houle annuelle	2.56 m	+1.3 m NMM, niveau 2030
Houle cinquantennale	2.71 m	+1.45 m NMM, niveau 2050

Source : ARTELIA-BCI Consult, 2020b

4.3.1.5. Marées

Les marées sont de type semi-diurne (Emoe *et al.*, 1999 ; MERF, 2010). Les marées observées à Cotonou, à Grand Popo et à Lomé sont très semblables parce que les vagues de marée dans cette région se propagent le long d'une direction perpendiculaire aux traits de côte du Bénin et du Ghana avec un léger décalage de phase et d'amplitude (WACA, 2017). Les niveaux de marée à Lomé et à Cotonou sont respectivement présentés dans le tableau 10 (ARTELIA-BCI Consult, 2020a). D'après NORDA STELO, 2016, l'amplitude de la marée



augmente entre Cotonou et Lomé. La différence entre les pleines mers de vives eaux et le ZH passent de 1,60 m (Cotonou) à 1,80 m (Lomé). Par contre, le ZH est situé à 1,20 m sous le NMM (Niveau Moyen des Mers) à Lomé alors qu'il se situe à 0,93 m sous le NMM à Cotonou (tableau 18).

Tableau 18 : Niveaux de marée au port de Lomé (SHOM, 2011) et à Cotonou

Marée	Lomé		Cotonou
	Niveau d'eau (m ZH)	Niveau d'eau (m IGN)	Niveau d'eau (m ZH)
Plus haute mer astronomique (PHMA)	≈ +2,3 m ZH	≈ +1,3 m IGN	≈ +1,8 m ZH
Pleine mer moyenne de vive-eau (PMVE)	+1,8 m ZH	+0,8 m IGN	+1,6 m ZH
Pleine mer moyenne de morte-eau (PMME)	+1,5 m ZH	+0,5 m IGN	+1,2 m ZH
Basse mer moyenne de morte-eau (BMME)	+0,8 m ZH	-0,2 m IGN	+0,5 m ZH
Basse mer moyenne de vive-eau (BMVE)	+0,4 m ZH	-0,6 m IGN	+0,2 m ZH
Plus basse mer astronomique (PBMA)	≈ +0,2 m ZH	≈ -0,8 m IGN	≈ +0,1 m ZH

Source : ARTELIA-BCI Consult, 2020a

Les niveaux hauts extrêmes estimés pour le littoral togolais définis par ARTELIA (2017) et confortés par EGIS (2019) sont les suivants :

- Actuel : +2,30 m ZH ;
- Horizon 2030 : +2,50 m ZH (Changement climatique : +0,20 m) ;
- Horizon 2050 : +2,65 m ZH (Changement climatique : +0,35 m) ;
- Horizon 2100 : +3,00 m ZH (Changement climatique : +0,70 m)

Pour Cotonou, les niveaux hauts extrêmes estimés par NORDA STELO (2016) hors changement climatique se présentent comme suit:

- Période de retour d'un an : +1,33 m NMM ;
- Période de retour de 10 ans : +1,36 m NMM ;
- Période de retour de 50 ans : +1,39 m NMM.

Concernant le littoral togolais, pour une période de retour de de 30 ans, le niveau haut extrême est de +2,50 m ZH (Changement climatique : +0,20 m). Sur le littoral du Bénin, la période de retour est de 10 ans pour un niveau extrême de +1,36 m NMM (NORDA STELO, 2016; ARTELIA, 2017; EGIS, 2019).

Du côté du Togo, les marées les plus hautes qui pourraient constituer un danger pour l'ouvrage à réaliser ne serait pas atteint avant la durée de vie de 10 à 15 ans. Du côté du Bénin, cette période de retour montre la nécessité de l'opération d'entretien des ouvrages après 10 ans afin d'éviter des risques de submersion notamment dans la zone de rechargement.

De Agbodrafo à Aného, les événements de surcotes de tempêtes sont notés et impliquent des risques d'inondation élevés. Les inondations sont également réelles surtout en saison des pluies en raison des apports de Haho, Zio et du Mono. Le segment complémentaire de l'embouchure à la frontière est surtout exposé au risque d'inondation marine qui y est très élevé (Anteagroup, 2017). Du côté béninois, le littoral connaît des phénomènes météorologiques, à l'instar de deux tempêtes survenues respectivement le 21 et le 26 juillet



1999, qui ont renforcé le risque d'érosion du littoral, déchaussant ainsi des cocotiers et menaçant les hameaux des villages (Amoussou, 2010).

4.3.1.6. Courants

On distingue trois types de courants dans la zone du projet : les courants de marée, les courants généraux et les courants littoraux.

- **les courants de marée**

Au Togo, d'après ARTELIA (2016), les courants de marée sont négligeables en côte franche, hors des zones de débouchés lagunaires. Ils sont généralement inférieurs à 0,2 m/s du fait du faible marnage, et ils ne participent donc pas à la dynamique sédimentaire côtière (hors débouché lagunaire). Le long du segment à protéger, pendant le flot, les courants de marée peuvent renforcer le transfert des sédiments érodés vers l'intérieur de l'embouchure d'Ahèho.

- **les courants généraux**

Au Nord du golfe de Guinée, la circulation océanique de surface est dominée par le Courant de Guinée (Bourles *et al.*, 2004). Le Courant Guinéen (CG) circule de l'Ouest vers l'Est, entre 0 à 30 mètres de profondeur, avec une intensité moyenne de 1 m/s (1,5 m/s en été et 0,5 à 0,75 m/s en hiver). En mars et en octobre, des inversions verticales se produisent (contre-courant de Guinée). Près du littoral, la vitesse des courants océaniques ne dépasse pas 0.2 à 0.3 m/s vers l'est (85-90% du temps) et 0.3-0.4 m/s vers l'ouest (10-15% du temps), comme confirmé par des mesures devant les ports de Lomé (INROS LACKNER, 2010 ; ARTELIA-BCI Consult, 2020a) et le wharf de Kpémé Piton (1986).

Les courants océaniques contribuent peu, ou presque pas au transport sédimentaire dans la zone littorale.

- **Courant littoral**

Lorsque les vagues arrivent obliquement à la côte, elles engendrent, à terre du déferlement, un courant parallèle au rivage dit « courant littoral ». C'est lui qui transporte les matériaux remis en suspension par les vagues et donne lieu à un transport solide dit « transit littoral ». Les mouvements s'effectuent majoritairement en direction de l'Est sur le littoral togolais.

4.3.2. CONTEXTE HYDROLOGIQUE

Les secteurs qui abritent ce projet couvrent respectivement la partie sud-ouest et Sud-est du domaine littoral du Bénin et Togo. Cette portion du littoral bénino-togolais est constituée de deux complexes fluvio-lagunaires dont la dynamique hydrologique est sous la commande des courants fluviaux et de marée. Il s'agit du complexe fluvio-lagunaire du Mono-Couffo au Sud-Ouest du Bénin et du complexe fluvio-lagunaire est du Togo.

4.3.2.1. Fonctionnement du système fluvio lagunaire du Mono-Couffo

Le complexe fluvio-lagunaire du Mono-Couffo comprend une lagune-vive étroite et allongée parallèlement à la côte appelée lagune côtière et une autre plus vaste, pénétrant l'intérieur des terres (le lac Ahémé), auxquelles s'ajoutent des lagunes-mortes (figure 19). Ce complexe

est en interconnexion avec la mer par une embouchure étroite (entre 100 et 300 m de largeur) et mobile appelée Bouche du Roy (Diaw ; Oyédé ; Mane & Diop, 2020).

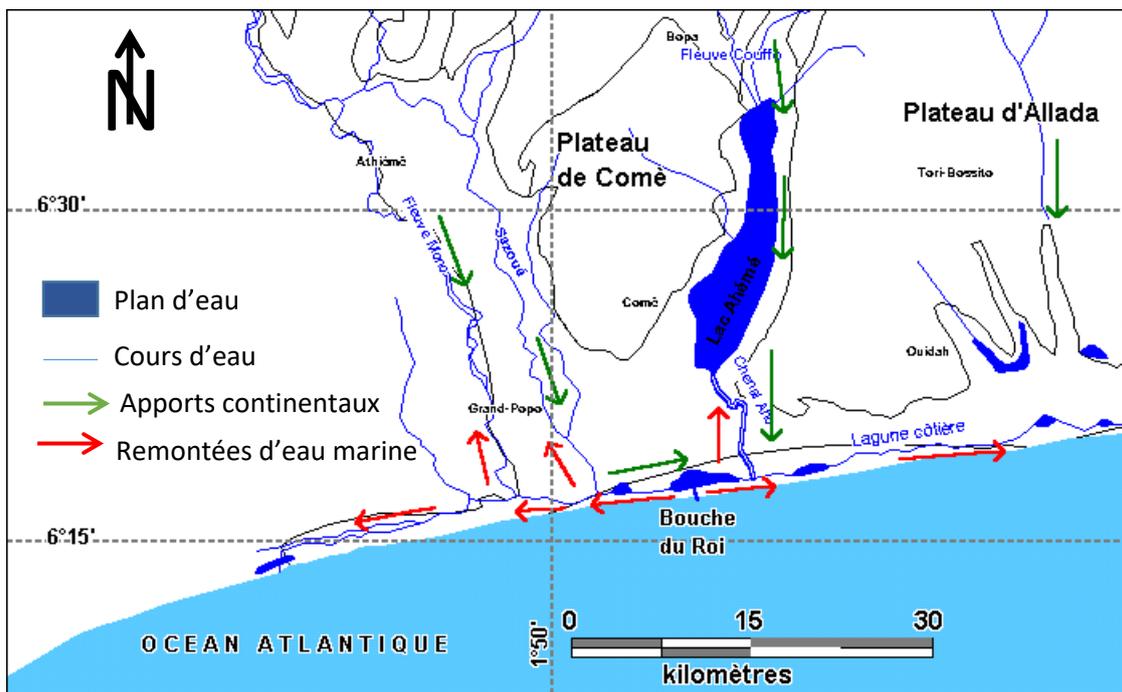


Figure 19: Influence des eaux marines et continentales sur le complexe fluvio-lagunaire du Mono.

Source : Base de données CATCH 2002 ; ADELAC, 2018

La lagune côtière s'étire entre Grand-Popo à l'Ouest et le village de Togbin (environ 5 km de Cotonou) à l'Est et a une longueur d'environ 55 km et une superficie de l'ordre de 30 km². Dans sa partie ouest qui est adjacente à la zone d'étude, elle porte le nom de la lagune de Grand-Popo. Le "lac" Ahémé est le second plus vaste plan d'eau du Bénin, avec une superficie de 78 km² à l'étiage et de 100 km² en crue (Le Barbé *et al.*, 1993 ; Laïbi, 2011). Il reçoit les eaux du Couffo, long de 190 km et drainant un bassin versant de 3 000 km². Le fleuve Mono prend sa source dans les hauteurs de Bafilo-Tchamba au Togo (Rossi et Antoine, 1990). Il a une longueur de 527 km et draine avec ses affluents l'Anie, l'Ogou et la Sazué, un bassin de 21500 km² au Togo et au Bénin. Une partie de son tracé, long de 100 km, matérialise la frontière entre les deux pays.

Il est connecté au complexe fluvio-lagunaire Est du Togo par le chenal Gbaga, le deuxième défluent du Mono après la Sazué. Au Togo, le chenal Gbaga se jette dans la mer en décrivant un large méandre donnant naissance à la lagune d'Aného (figure 20).

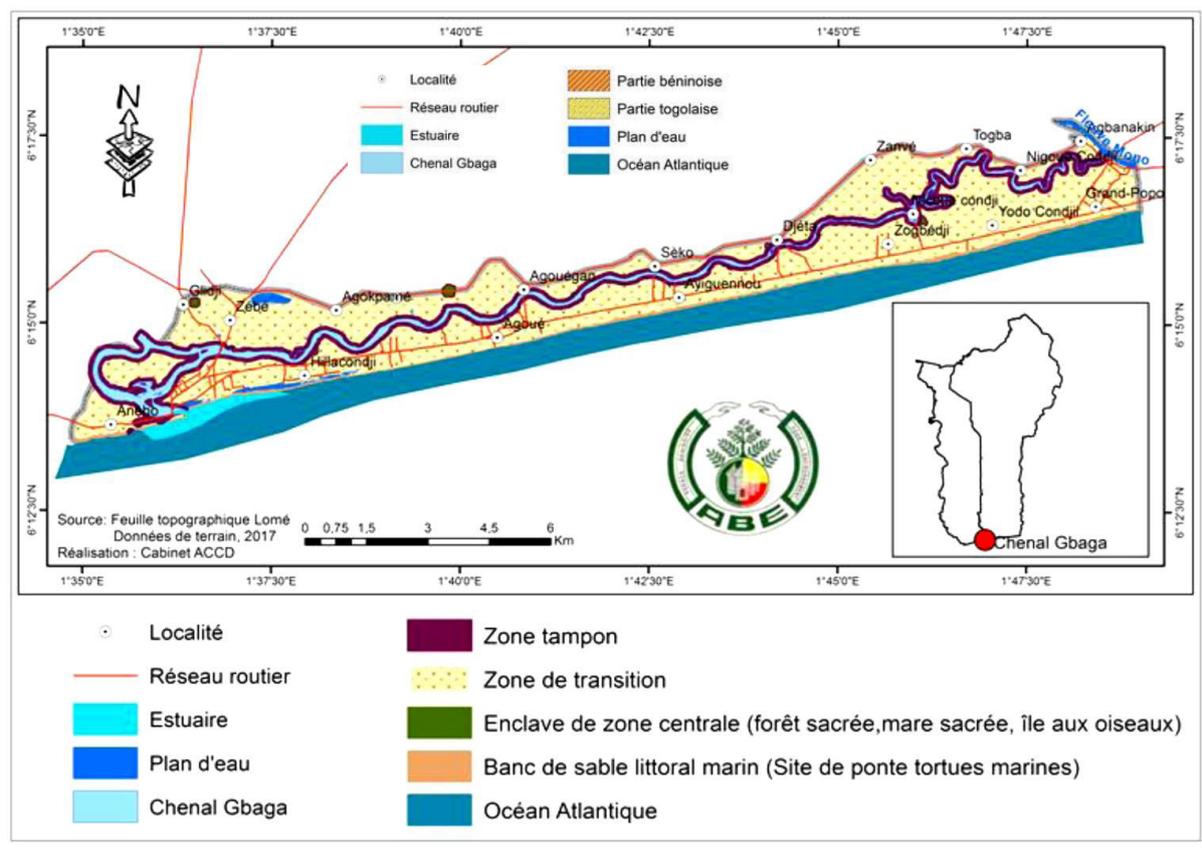


Figure 20: Chenal Gbaga et connexion avec la lagune d'Aného

Source : Plan de gestion du chenal Gbaga, 2018

Le fonctionnement hydrologique du complexe est sous le contrôle des écoulements d'eau fluviale et de la marée. En période de crue du Mono, que ce soit avant ou après la mise en service du barrage Nangbéto, les courants du Mono sont toujours très forts, surtout entre août et octobre. Les eaux de l'estuaire deviennent alors purement douces. Ainsi, à basse marée, la quasi-totalité des eaux du Mono traverse la lagune côtière et se déverse directement en mer par la bouche du Roy (Oyébé, 1983). A haute marée, bien que l'essentiel des eaux du Mono se déverse aussi en mer par la bouche du Roy, une partie remonte le chenal Aho pour se stocker dans le lac Ahémé (Pliya, 1976 et Oyébé, 1983).

Durant l'étiage du Mono, avant la mise en service du barrage, du fait qu'aucun apport d'eau douce substantiel n'arrive dans l'estuaire, les échanges hydrologiques s'effectuent quasi exclusivement avec les eaux marines et la salinité dans l'estuaire reste élevée (Oyébé, 1983. PNUD, 1987). Après le barrage, sous l'effet de la permanence des écoulements du fleuve Mono et de leur taille (importance), les équilibres d'eau dans l'estuaire s'effectuent désormais avec un mélange eaux marine-eaux du Mono. L'analyse de l'évolution des pluies sur les écoulements et de l'effet de la mise en eau du barrage de Nangbéto, montre que le Couffo à Lanta (« régime naturel ») a connu une augmentation des débits car on est passé de 4,94 m³/s de 1961-1987 à 6,27 m³/s de 1988-2011 soit 27 % d'excédent (deux fois plus que la quantité de pluie recueillie).

Par contre, après la mise en eau du barrage de Nangbéto, le débit d'étiage du fleuve Mono à

Athiémé a connu une augmentation de 97 % (avec une légère augmentation de 1.4 % des précipitations) et la crue a diminué de près de 10 % (ADELAC ; 2019 ; figure 21). Cette diminution des apports d'eau du Mono, engendre une baisse du niveau d'eau dans le système lagunaire. Par contre l'augmentation des débits d'étiage entraine une pérennisation des eaux douces dans le système provoquant les mutations bio-écologiques dans le système.

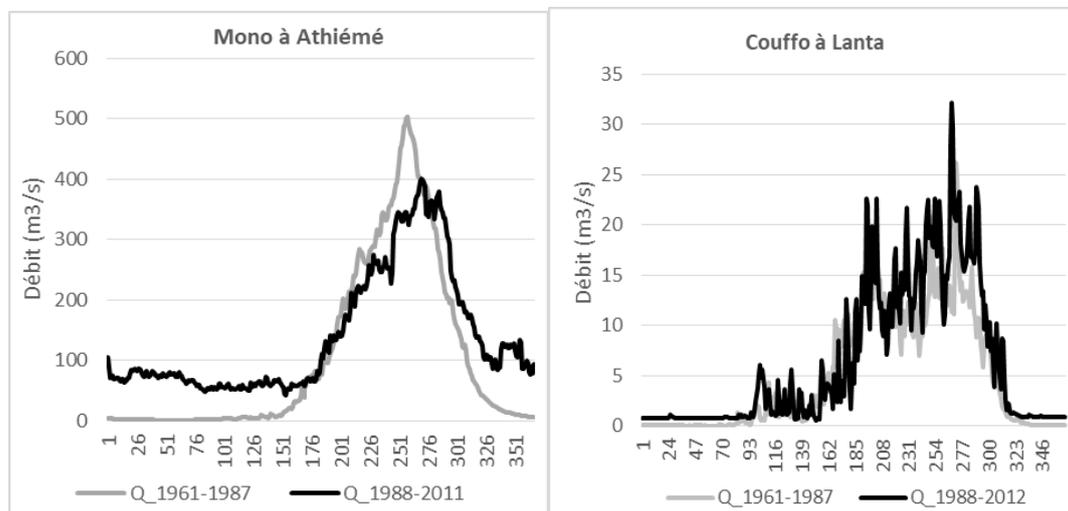


Figure 21 : Variation mensuelle des écoulements dans le complexe avant (1961-1987) et après (1988-2011) la mise en eau du barrage de Nangbéto

Source : Adelaç, 2019

Dans la lagune côtière, on note un hydrodynamisme faible du secteur oriental et un hydrodynamisme relativement fort vers Grand-Popo, avec une vitesse de l'ordre de 0,78 à 1,4 m/s vers le fond et un débit de 429 m³/s, à la station de Avlo Plage (Tosou et al., 2019).

Dans le chenal Gbaga, le régime sédimentaire au niveau du Chenal est influencé par l'écoulement du bassin du Mono. Le bassin est arrosé sept mois sur douze et cette abondance des pluies associée à l'intrusion marine à l'extrémité sud et aux lâchers d'eau du barrage de Nangbéto détermine la dynamique de l'écoulement (Amoussou, 2010 ; ACDD, 2018).

Dans le "lac" Ahémé, les profondeurs sont inférieures à 1,5 m au Sud du "lac", et atteignent 4,5 m à l'entrée du fleuve Couffo. Les débits mesurés à Guézin, en saison sèche (mars), sont comprises entre 0 m³/s à la cote 103 cm et 16.2 m³/s à la cote 111 cm, témoignant des entrées d'eaux de la zone inondable aval. En crue (juin), les débits mesurés varient entre 0 et 12 m³/s et s'alternent en entrants ou sortants selon le cycle des marées (ADELAC, 2018).

4.3.2.2. Fonctionnement du système fluvio lagunaire Est du Togo

Dans le complexe fluvio-lagunaire Est du Togo est intégré le "lac" Togo avec une superficie de 46 km² et une extension entre les villages de Sevatonou et Dekpo dans le Nord jusqu'à ceux d'Agbodrafo et de Togoville au Sud. Le lac Togo est alimenté par les rivières Haho, Zio et Boko par le truchement du lac Vogan ; puis communique avec la lagune d'Aného par un chenal lagunaire (figure 22).

Tout le système est connecté hydrologiquement au fleuve Mono par le chenal Gbaga, qui est situé à cheval sur la frontière entre le Bénin et le Togo.

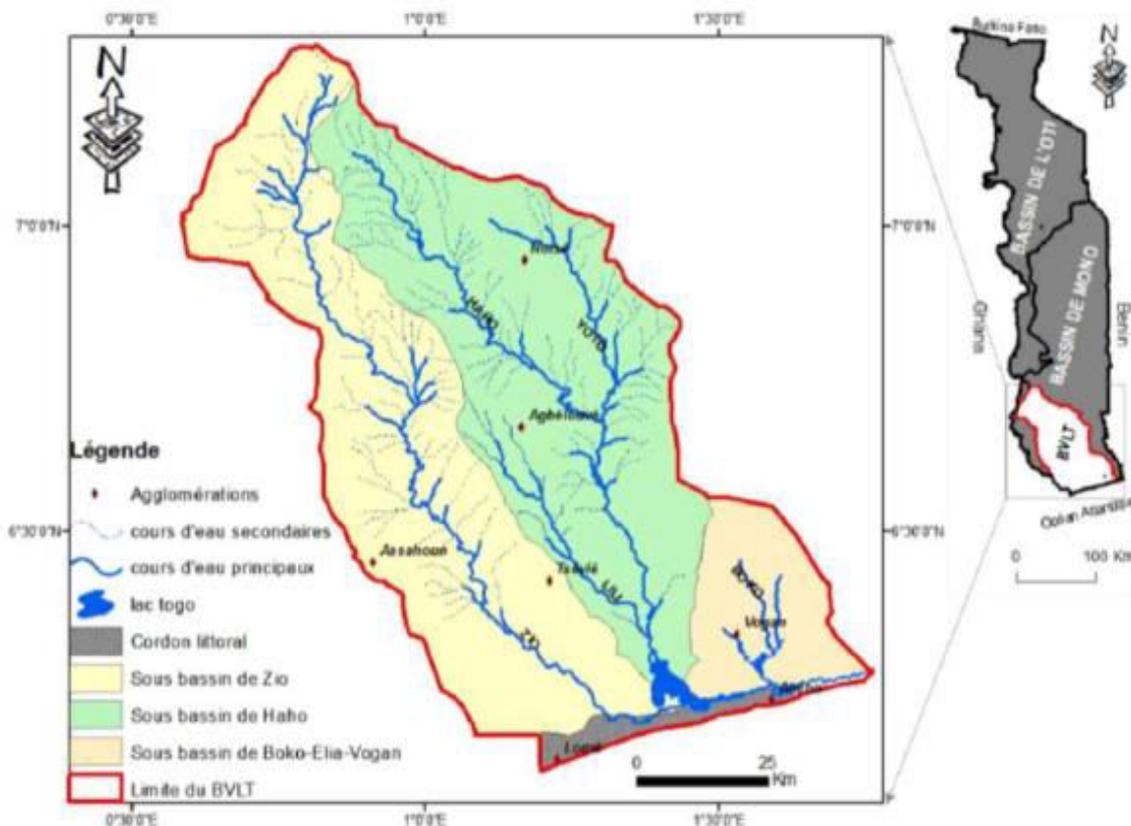


Figure 22 : Bassin versant du Lac Togo et cours d'eau principaux.

Source : AKOUVI AVUMADI, 2019

Le fonctionnement hydrologique du complexe est fonction du régime des rivières Zio, Haho et Boko qui, drainent un bassin hydrographique de 7200 km², ainsi que de l'influence marine. Ainsi, l'estuaire du lac Togo présente les traits d'une embouchure tidale, indicateur d'un échange actif entre les milieux lagunaire et marin pendant une bonne partie de l'année (Oyédé, 1991).

Le lac Togo, présente un fond plat, légèrement incline vers le centre où les profondeurs atteignent 2 à 3 m en périodes de hautes eaux. La profondeur moyenne au minimum d'étiage est de 1 m, avec une côte moyenne du fond du lac de - 0,6 m IGN (Nivellement Général du Togo). Les pentes de ligne d'eau sont très faibles sur l'ensemble des plans d'eau lagunaires. Le Zio long de 176 km est le principal tributaire en raison de son débit et son écoulement permanent (CGILE-UNB, 1999). Il est en crue maximale entre juillet et octobre et a un débit moyen estimé à 9,9 m³/h (figure 23).

La rivière Haho, d'une longueur de 199 km est le second tributaire du Lac Togo, sans écoulement 30 à 130 jours par an, avec un débit moyen à l'embouchure de 5,8 m³/h (MERF, 2010). La rivière Haho présente un hydrogramme bimodal avec deux pics d'inondation annuels (figure 23). Le premier pic d'inondation apparaît entre juin et juillet. Le deuxième plus grand pic d'inondation apparaît généralement en septembre.

La marée haute entraîne la remontée des eaux du Zio et Haho dans le chenal et leur mélange aux eaux marines. A marée basse, en revanche, des eaux douces se déversent dans la mer par la passe d'Apounoukpa. Les apports d'eau salée au système sont évidemment plus importants en période d'étiage. L'arrivée d'un volume considérable d'eau marine, rend l'eau saumâtre et modifie l'écosystème lagunaire. Cette intrusion saline a pour conséquence, la disparition des poissons d'eau douce, la salinisation des aquifères peu profonds notamment, ceux du Continental terminal, du sable quaternaire, ainsi que l'aquifère éocène autour du lac Togo.

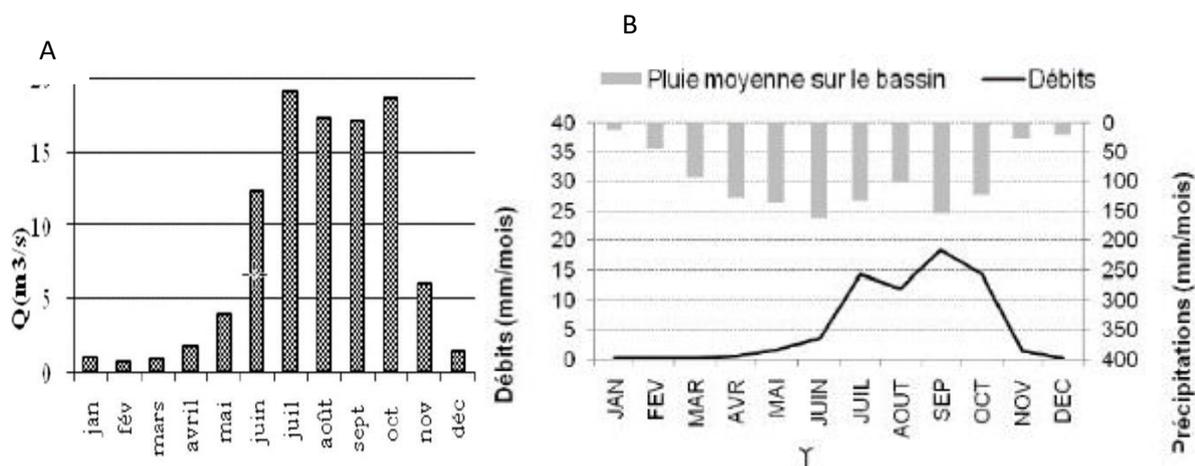


Figure 23 : (A) Evolution saisonnière de la rivière Zio. Source : Komi Selom Klassou (Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement n°2, 2014) – (B) Variations moyennes du débit de la rivière Haho à Gati entre 1971-1991.

Source : MERF, 2017 ARTELIA-BCI Consult, 2020a

4.3.3. PEDOLOGIE

Du point de vue pédologique, la zone d'étude est caractérisée par deux grands types d'unités morpho-pédologiques.

4.3.3.1. Unités morpho-pédologiques de la plaine côtière

L'ensemble du domaine margino-littoral est séparé de la mer par le cordon littoral de la plage généralement planté de cocoteraies et de filaos. Les différentes générations de cordons sableux littoraux sont constituées de formations détritiques sableuses quaternaires présentant plusieurs types de sols :

- les sols peu évolués de la frange sud du cordon en bordure de mer, sur sables littoraux présentant un taux de matière organique inférieur à 1% dans l'horizon humifère.
- les sols lessivés à sesquioxydes de fer et les sols hydromorphes qui se rencontrent sur la frange nord des cordons sableux en bordure des lagunes. Les sols à sesquioxydes ne sont que très faiblement argileux (3 à 5 % d'argile) en surface avec un horizon humifère de 15 à 20 cm. Les sols hydromorphes par contre, essentiellement sableux, appauvris chimiquement et engorgés sont impropres à toute culture.
- les sols hydromorphes humifères à gley plus ou moins salés qui se présentent sur



toute la formation sablo-argileuses en bordure des lagunes. Ces sols se caractérisent par la présence d'une nappe très superficielle freinant la dégradation de la matière organique et pouvant parfois subir des influences salées (Diaw et al., 2020). Au Togo, dans les vallées autour du lac-Togo, des sols hydro- morphes présente des structures massives avec présence de gley.

4.3.3.2. Les unités morpho-pédologiques des aires deltaïques

Ces plaines constituées de formations détritiques récentes se concentrent au niveau de l'estuaire du Mono-Couffo. Ces formations sont le plus souvent de prairies à *Paspalum vaginatum*. On y rencontre deux principaux types de sols hydromorphes (figure 24 et 25) :

- les sols hydromorphes minéraux à gley qui occupent les zones les plus basses et subissent une immersion prolongée lors des crues. Les teneurs en argile sont élevées (supérieures à 60 %) et la teneur en limons fins est faible (10-20 %). Ces sols se caractérisent par des capacités de drainage externe et interne très faibles. La teneur en matière organique est de l'ordre de 3 à 5 %.
- les sols hydromorphes humifères à gley qui caractérisent sur alluvions argileuses. Ces sols très argileux (40 à 80 %d'argile), pauvres en limons fins (inférieur à 10 %) et riches en matière organique (10 à 15 %) présentent une assez bonne perméabilité et sont très cultivés.

A noter également, la présence de sols halomorphes à tendance hydromorphe riches en alcalis, recouverts de mangroves sur les platiers alluvionnaires du système lagunaire occidental fortement influencé par la pénétration d'eau marine au niveau de l'embouchure la "Bouche du Roy".

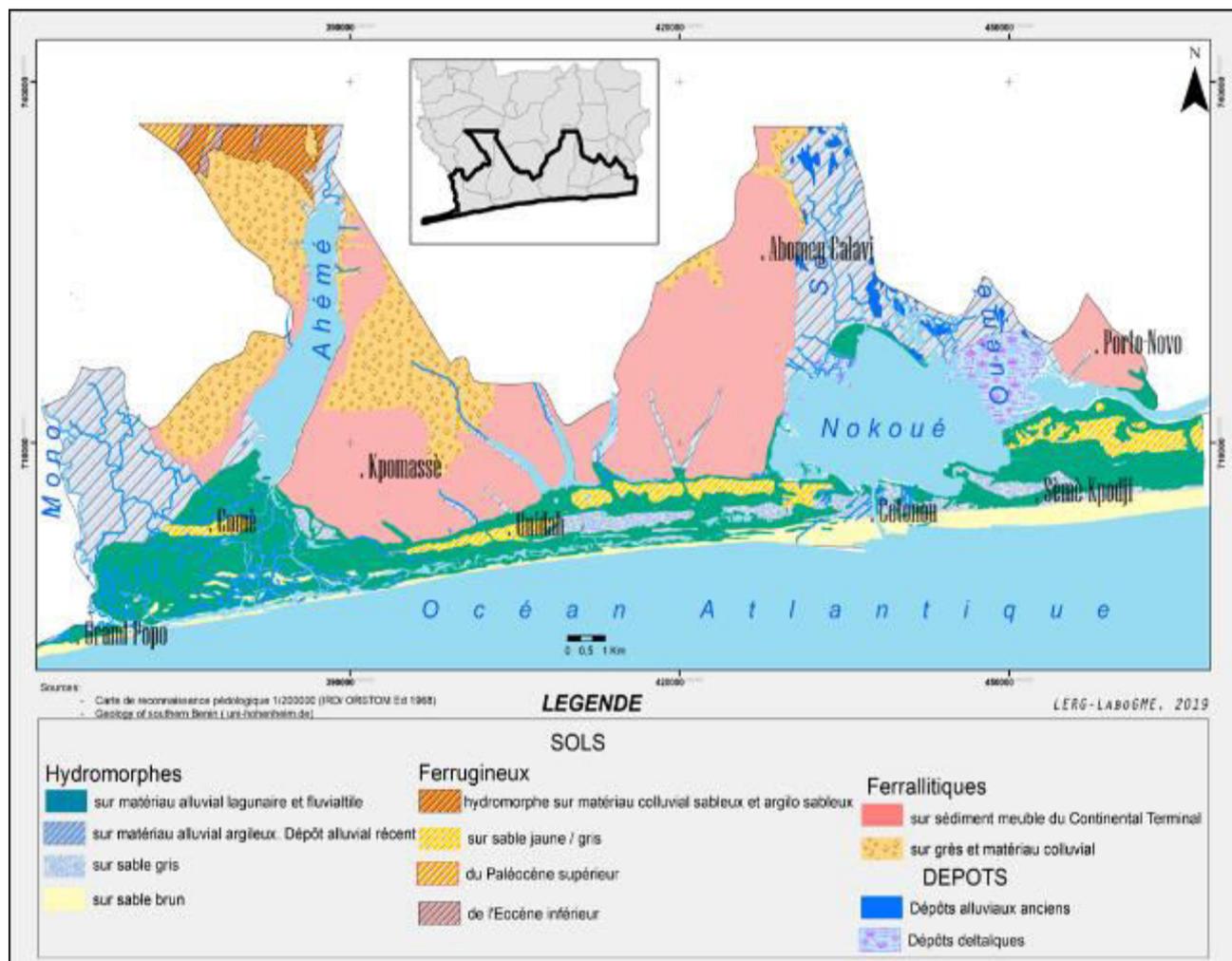


Figure 25 : Carte morphopédologique des formations du littoral béninois

Source: Diaw et al., 2020

4.3.4. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE ET GEOLOGIQUE

La zone qui abrite ce projet de protection transfrontalière, occupe une portion de la plaine côtière (Figure 26). Cette plaine est constituée d'une série de cordons littoraux formant entre la bordure des plateaux et la ligne de rivage, plusieurs générations de cordons sableux disposés parallèlement à la côte et entrecoupées de dépressions marécageuses ou lagunaires.

Au Bénin, trois générations de cordons sont signalées. Il s'agit du cordon interne de "sable jaune" ; du cordon médian de "sable gris à blanc", et du cordon externe de "sable brun" longeant la mer. Au Nord de la zone d'étude, le chenal de Gbaga met en relation le système fluvio-lagunaire du Mono avec celui du lac Togo.

Entre le chenal Ahô et la frontière du Togo, les cordons internes de sables jaunes d'altitude 6 m et même ceux de sables gris d'altitude 4 m, sont peu individualisés et leur affleurement se réduit au Sud du plateau de Comè. Dans ce secteur qui intègre la zone du projet, la plaine est constituée d'un vaste domaine marécageux sous l'influence notable des courants de marée et des débordements du Mono. En conséquence, la dynamique érosive des courants

fluviomarins actuels et subactuels, ont profondément bouleversé la disposition des trois cordons, qui montrent une extension plus ou moins étendue vers l'Est du littoral béninois. Les cordons de sables bruns périodiquement incisés et déchiquetés, contribuent à la dynamique de construction de la flèche à l'embouchure du Mono. Les cordons de sables bruns ont une largeur est inférieure à 500 m entre le chenal Aho et celui de Cotonou.

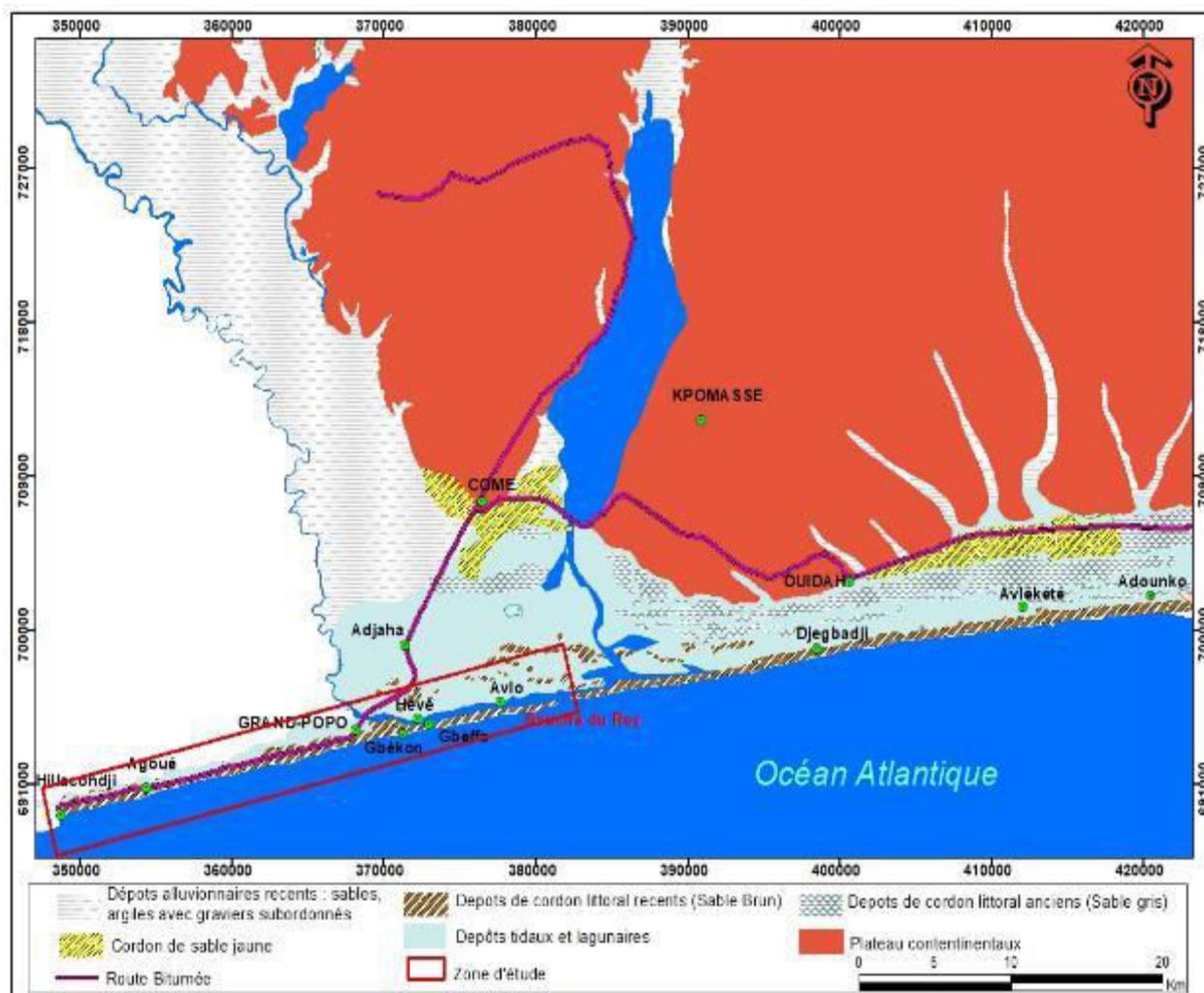


Figure 26 : Carte géomorphologique montrant les différentes formations géologiques du littoral sud-ouest béninois

Au Togo, la plaine se compose de deux systèmes de cordons sableux associés aux zones marécageuses (Figure 27). Le cordon interne de sable jaune précédemment décrit pour le littoral béninois, est ici massif, avec un rebord lagunaire découpé en plusieurs rentrants successifs par les défluviations de la rivière Zio et modelé par l'action marine durant l'Holocène en profil rectiligne. Situé à 7 m d'altitude sur une étendue de 30 km avec 2 km de large au droit de la localité de Gbodjomé, il est adjacent à la paléofalaise marine du Continental Terminal sur environ 10 km et constitue, au débouché de la rivière, un cordon-barrière qui favorise des dépôts sédimentaires fluviaux sur lesquels se répartissent les étangs à végétation halophile variée. Il présente une surface assez régulière orientée vers le

sud et se termine dans le secteur du village de Goumoukopé où il domine un marais de 2 km de large sur 10 km de long. Le cordon externe est de 2 à 3 km de largeur dans le secteur de Lomé et moins de 100 m à Aného. Il est constitué de plusieurs alignements successifs d'accumulations de sables, de surface ondulée, à la cote moyenne de 5 m au-dessus du niveau moyen des mers. Les systèmes de flèches sont rectilignes, parallèles à la côte et incurvés dans les zones d'embouchures.

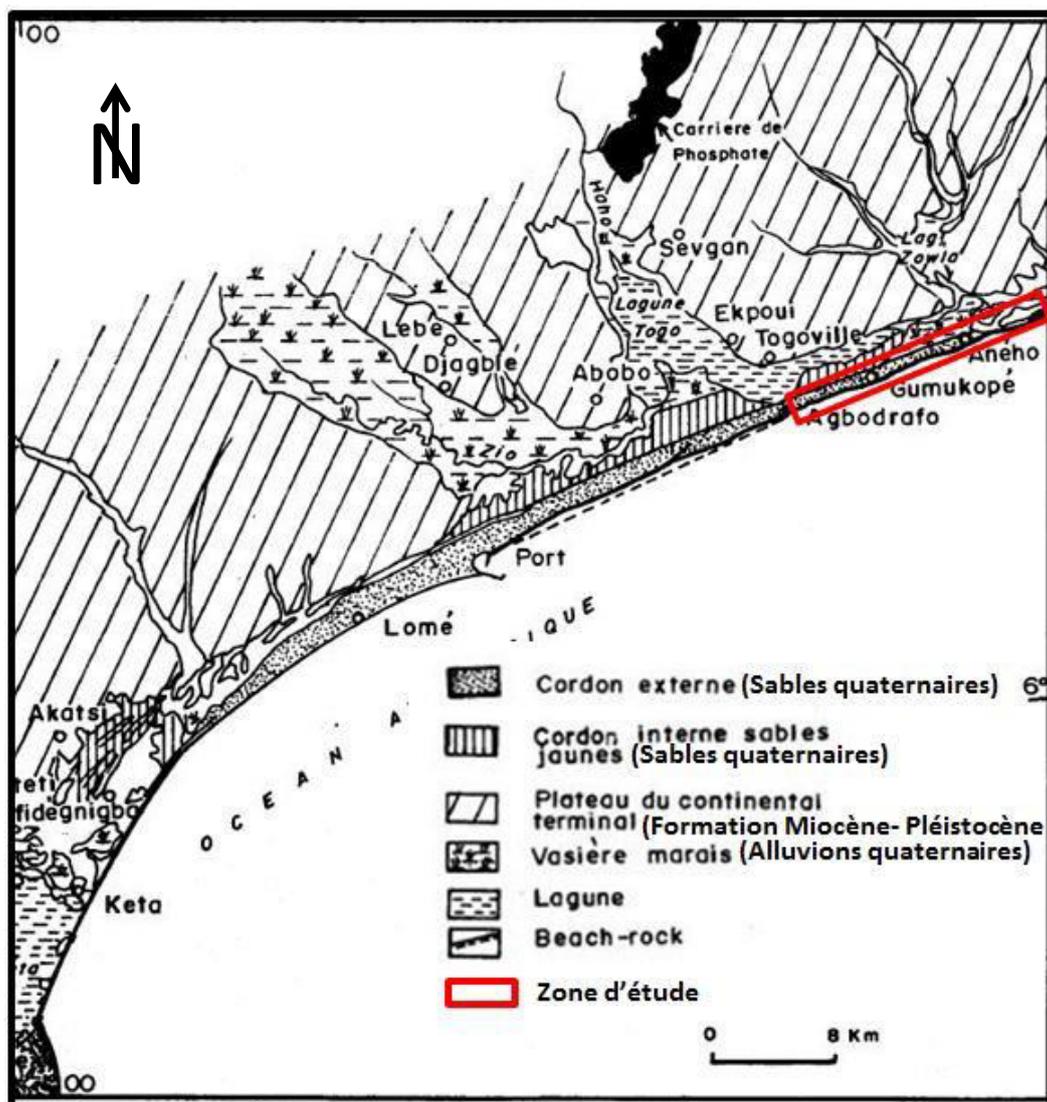


Figure 27 : Carte géomorphologique montrant les différentes formations géologiques du littoral togolais (Blivi, 1993 ; CGILE-UNB; 1999)

Les dépôts de la plaine littorale bénino-togolaise ont fait l'objet de plusieurs études géologiques. Du point de vue genèse, il ressort que : les cordons de sable jaune correspondent à un épandage continental au cours de la régression ogolienne (18.000 ans B.P.), avec un remaniement en milieu marin pendant la formation du cordon (Guilcher 1959 ; Lang et al. 1988 et Blivi 1993). Selon Oyédé (1991), les trois cordons de sables jaunes, gris et bruns sont mis en place à la faveur des fluctuations liées à la transgression holocène (autour de 5500 ans B.P.). Par contre, Laibi (2011) pense que les cordons de sable jaune



représentent les termes ultimes de la transgression inchiennienne (30000 à 25000 ans B.P.), et auraient été entièrement jaunies au cours de la régression ogolienne qui a porté le niveau de la mer à -110 m par rapport à son niveau actuel.

Du point de vue sédimentologique, il est noté que :

- le cordon interne du littoral béninois est constitué de sable quartzeux moyens à fins, très peu argileux (moins de 10%), plus ou moins classés et assez homogènes. L'argile est essentiellement kaolinitique et les minéraux lourds sont constitués de nombreux minéraux opaques et de minéraux ultrastables (Zircon, disthène et rutile). Du côté du Togo, ce cordon est constitué de sédiments homogènes et homométriques (Blivi, 1993 et Tastet, 1977). La teneur en argile est très variable, en moyenne 12 %; mais en profondeur, elle dépasse 25 %.
- le cordon médian du littoral béninois est constitué jusqu'à 95% de sables quartzeux moyens à grossiers, bien classés, contenant, en plus des minéraux lourds présents dans les sables jaunes, de faibles indices minéralogiques marquant un apport lointain par les cours d'eau, à partir des roches du socle situé plus au Nord. Même s'il existe, la description sédimentologique du cordon médian du littoral togolais n'est pas trop renseignée dans la littérature.
- le cordon externe de sable brun (figure 25) de la plage béninoise a une granulométrie, très voisines des sables du cordon médian. On note une rareté en minéraux caractéristiques du premier cordon (cordon interne) et un enrichissement en minéraux du socle (staurotide, grenat, amphibole, épidote).

Du côté togolais, le cordon externe est constitué de sable moyen à grossier avec, des minéraux suivant : rutile, disthène, zircon, épidote, calcite, limonite et grenat. Sur la plage, ces sédiments sont très grossiers (graviers) dans la zone de déferlement (figure 26).

4.3.4.1. Descriptif du plateau continental du Togo

Le plateau continental togolais a une extension de 23 km à la limite de l'isobathe 100 m avec une superficie de 1 500 km². Il présente une topographie relativement sub-plane, faiblement inclinée (moins de 1°) et a plus de 50% de sa bathymétrie en dessous de 50 m de profondeur (CGILE-UNB, 1999). Au-delà de l'isobathe 100 m, la chute du plateau continental devient raide de l'ordre de 15%. Sa bathymétrie indique une surface assez plate comportant plusieurs niveaux de beach-rock qui affleurent entre 350 et 500 m de la côte. La stratigraphie montre des formations à faciès variés d'épaisseurs assez importantes et des alignements de beach-rock subaffleurant, témoins des variations des lignes de rivage et du niveau marin. Ces sédiments composites sur le proche plateau continental constituent donc une source d'alimentation du transit sédimentaire actuel.

Nature des fonds marins du Togo

Les fonds marins togolais sont principalement constitués de sables. Le plateau continental s'étend sur 20 km ; sa limite correspond à l'isobathe -100 m et sa chute vers les grands fonds

est rapide. Au droit du littoral togolais, on distingue cinq grands types de fonds (figure 28, INROS LACKNER, 2015) :

- près de la côte, les fonds meubles sont constitués de sables, avec des proportions en vases plus ou moins importantes selon les secteurs ;
- les fonds durs à gorgones peu étendus mais bien développés sont situés près de Doèvi sur des fonds inférieurs à 15 mètres (les autres fonds durs sont représentés par la barrière de corail au large) ;
- les fonds sableux s'étendent jusqu'à une profondeur de 35 mètres en dehors des zones de déversements vaseux lagunaires ;
- lors les fonds de 40 mètres, on note une bande de transition constituée de sables vaseux ;
- les fonds de vases sableuses sont répertoriés à partir de 45 mètres, et sont parsemés de coraux vers des profondeurs de 52 à 56 mètres.

La figure 28 présente les divers types de fonds du plateau continental togolais.

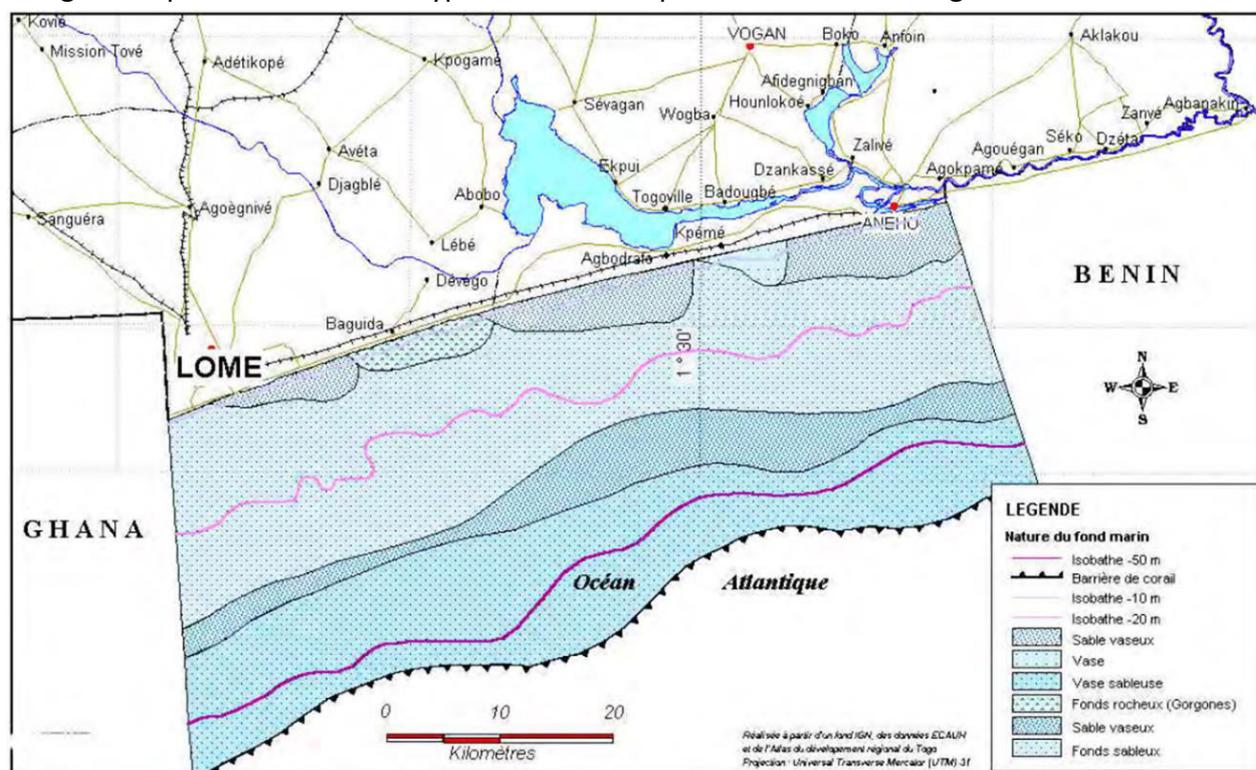


Figure 28: Nature des fonds marins du Togo (BCEOM, 1974 ; INROS LACKNER, 2015 ; NORDA STELO, 2016)

A ces fonds, correspondent diverses espèces de poissons. Les fonds en deçà de 100 m sont propices à l'activité de pêche. Au-delà de cette profondeur, la pêche est moins importante. Ces types de fonds présentent diverses natures.

Dans le secteur compris entre les isobathes - 15 m de la plage sous-marine et - 80 m de la marge continentale, les sondages montrent une régularité de la pente du plancher de la marge continentale. La surface du proche plateau continental interne comporte un épandage de sédiments subactuels à actuels et des dépôts récents de type deltaïque. Blivi et



al., 2003 signalent que cette disposition du plateau continental du Togo semble être la même sur le plateau béninois, qui se distingue par un épaissement des couches en direction de l'Est.

Par contre, ces sondages offshore révèlent des niveaux de rugosité marqués par des aspérités, dont la dureté indique probablement des alignements de beach-rock et de fonds rocheux, qui tranchent avec de longues surfaces homogènes et surplanes à partir de l'isobathe - 40 m.

Un alignement de récif corallien mort et presque parallèle au rivage essaime le fond sableux entre les isobathes 52 et 56 m, à environ 15-17 km de la côte. Au-delà, et jusqu'à la chute du plateau, on note la présence de nombreuses têtes de coraux morts. En dehors de ces têtes de coraux qui dénotent les activités biologiques, le plateau continental présente des caractéristiques géologiques qui se résument en fonds marins se succédant suivant les profondeurs de la mer.

Au-delà de l'isobathe 100 m, le talus continental se caractérise par de fortes pentes jusqu'au niveau de l'isobathe de 1 300 m environ de profondeurs.

Granulométrie des sédiments marins du Togo

ARTELIA (2016) résume les différents travaux de sédimentologie réalisés sur les plages aériennes et sous-marines du Togo qui permettent de définir une distribution des sédiments le long du littoral, sous l'action du courant de dérive.

Parmi ces travaux, on peut citer la campagne de prélèvements et d'analyses de sédiments menée par le LCHF en 1984, sur le littoral et dans les fonds marins entre la côte et -15 m, sur l'ensemble de la zone Kpémé-Aného. L'examen des courbes granulométriques a permis de dire qu'en règle générale :

- les sables de la zone active (de l'estran jusque vers -8 m à -10 m) sont très bien classés et ont une distribution granulométrique log-normale classique ;
- les échantillons d'estran ont des granulométries dont les médianes sont comprises, le plus souvent, entre 0,4 et 0,5 mm ;
- par fonds de -3 à -10 m, les diamètres médians sont compris entre 0,10 et 0,15 mm, sauf devant Kpémé-Est où les vases apparaissent dès -8 à -10 m ;
- les sédiments vaseux prélevés à l'Est du wharf de Kpémé lors de cette campagne, entre les fonds de - 10 et -14 m (limite de prélèvement), ont des diamètres médians compris entre 2 et 4 microns ; d'après le LCHF, il s'agit certainement de dépôts liés aux rejets des phosphates (vases blanchâtres à jaunâtres) ; en dehors de cette zone, les sédiments, à des profondeurs équivalentes, sont sensiblement moins vaseux et les matériaux vaseux sont gris ;
- les sables moyens à grossiers rencontrés au-delà de -12 m sont moins bien classés que les sables de l'estran et des petits fonds marins ; il s'agit de sables fossiles peu ou non soumis aux actions de triage de la houle, qui ont des diamètres médians compris entre 0,5 et 1 mm.



De plus, le LCHF précise que la répartition des sédiments devant Kpémé-Aného a sensiblement les mêmes caractéristiques que celle observée sur le reste du littoral togolais (à l'exception de la zone particulière de sédiments vaseux devant Kpémé-Est).

Cette répartition générale est cohérente avec les courbes granulométriques présentées dans la thèse d'A. B. BLIVI (1993) indiquant que sur l'estran, les sables sont bien triés, moyens à grossiers, avec des diamètres médians compris entre 0,4 et 1,0 mm.

Plus récemment, des sondages géotechniques et des forages ont été réalisés par INROS LACKNER (2010) à l'Ouest immédiat du port de Lomé, avant les travaux de construction de l'épi d'arrêt des sables et de creusement de la darse LCT. L'analyse des sédiments prélevés en janvier 2009, à différentes profondeurs jusqu'à environ 8 m sous la surface de la plage Ouest, met en évidence des sables moyens à grossiers, de diamètres médians compris entre 0,3 et 0,7 mm donc en cohérence avec les données précédentes.

4.3.4.2. Description du plateau continental du Bénin

La plaine côtière bénino-togolaise se prolonge en mer par une plateforme continentale. De forme trapézoïdale, le plateau continental béninois couvre une superficie voisine de 2800 km² entre les isobathes 10 et 100 m (Crosnier et Berrit, 1963). D'une longueur de 125 km environ, sa largeur varie entre 22 et 24 km à l'Ouest jusqu'à Ouidah et atteint environ 32 km à la frontière bénino-nigériane à l'Est. La pente est douce entre les fonds de 10 à 35 m environ. Une rupture de pente assez légère s'observe entre 35 et 45 m. Ensuite, celle-ci se maintient régulière jusqu'à une limite coïncidant avec la barrière de corail que l'on trouve presque partout entre 52 et 56 m de profondeur. Au-delà de cette barrière, la pente est régulière jusqu'à la chute du plateau, mais elle est parsemée de têtes rocheuses d'origine corallienne.

Nature des fonds marins du Bénin

D'après NORDA STELO (2016), les fonds marins au large de la partie béninoise de la zone d'étude sont constitués de quatre types de fonds disposés en bandes parallèles suivant les isobathes de 10 à 100 m : Les fonds durs.

- les fonds à gorgones, à moins de 15 m de profondeur à l'Est de Grand - Popo et près de Godomey. Au-delà des 15 m jusqu'à la barrière corallienne, ils affleurent de manière isolée ;
- les fonds coralliens, représentés par une barrière de coraux qui s'allongent entre Ouidah et Cotonou vers 52 à 56 m de profondeur (voir figure 29).
- les fonds de sable vaseux sur deux grands secteurs : les fonds littoraux développés jusqu'à 17 m de profondeur au voisinage des débouchés lagunaires et fluviaux et les fonds parallèles à la côte, situés au-delà des 35 m de profondeur et sur une largeur inférieure à 4 km ;
- les fonds de sable relativement plus homogènes, qui s'étendent jusqu'à la profondeur de 35 m, fait de sable grossier mélangé de graviers dans les 20 à 30 m avec peu de crêtes rocheuses ou coralliennes. La largeur de ces fonds varie : 12 km

devant Agoué, 8 km entre Avlo-Plage et Ouidah où ils sont plus ou moins vaseux et 13 à 15 km après Cotonou vers l'Est ;

- les fonds de vase sableuse et de vase, tapissant la partie profonde du plateau continental respectivement à l'Ouest et à l'Est de Ouidah, à partir de 45 m de profondeur, à peu près 6 km de largeur entre Hillacondji et Agoin Houta.

La lithologie des fonds marins montre l'existence de sables d'une extension considérable qui pourraient servir lors du rechargement. Bien entendu, leur prélèvement implique la modification de la topographie, l'abaissement du fond marin et l'augmentation de la turbidité. Ces impacts localisés au large seraient à court terme, en raison du reprofilage naturel et la décantation qui suivront les opérations de prélèvement.

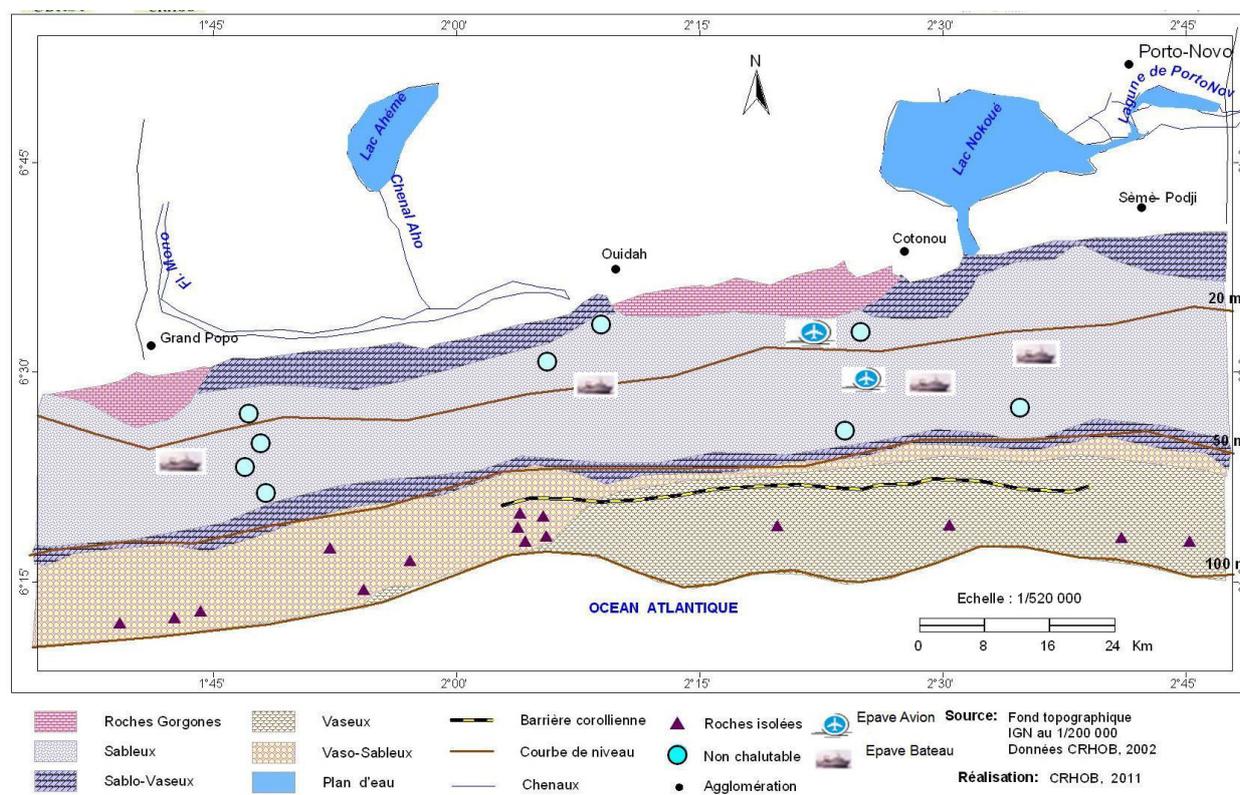


Figure 29: Nature des fonds marins du Bénin

Source : IRHOB, 2011

Zones de frayère

Des échanges avec le Directeur de l'Institut de Recherche Halieutique et Océanologique du Bénin (IRHOB), il ressort que les zones de frais sont constituées des milieux non chalutables, des milieux de présence des épaves et des roches isolées. Ainsi, l'observation de la figure 29, révèle qu'il y a présence de zone de frais dans la zone de mise en œuvre du projet, au niveau du Bénin et dans l'environnement immédiat de cette zone à Grand-Popo. Il s'agit de la zone matérialisée par la présence d'une épave de bateau et de la partie non chalutable sur la carte.



Granulométrie des sédiments marins du Bénin

D'après NORDA STELO (2016), des prélèvements de sédiments ont été effectués sur les plages de Hillacondji à Djondji ainsi qu'en mer. Il ressort de l'analyse de ces prélèvements que :

- En haut de plage, le diamètre moyen D50 des sédiments se situe autour de 0,4 mm ;
- En milieu de plage, le diamètre moyen est également de l'ordre de 0,4 mm, mais avec une plus grande dispersion des résultats ;
- En bas de plage, le diamètre moyen est compris entre 0,7 mm et 1 mm, en accord avec le milieu plus énergétique.

L'analyse des sédiments dans les petits fonds ne montre pas de cohérence apparente entre la position et la nature des sédiments prélevés.

Dans le cadre des travaux de thèse Moussa BIO DJARA (2019), des campagnes de prélèvements sédimentologiques sont réalisés entre 2015 et mars 2018 pour l'ensemble des secteurs étudiés. Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau 19 et confirment globalement les chiffres précédents.

Tableau 19 : Analyses granulométriques des prélèvements sur la plage

Bornes	Lieu et Coordonnées de Prélèvement	Points	Altitude (m)	Sable grossier (%)	Sable moyen (%)	Sable fin (%)	Silt&Argile (%)	Paramètres		
								Grain Moyen	Médiane	Assymétrie
B3	Agoué X : 358651 Y : 691558	H1 - BR1	2	17,1	81,68	0,22	0	0,4	0,4	0,010
		E1 - BR1	0,5	1,97	97,62	0,41	0	0,9	0,9	-0,03
		AVP- BR1	-0,75	15,05	84,43	0,52	0	0,66	0,7	-0,14
		AVP'- BR1	-1,5	17,59	81	1,4	0,01	0,63	0,7	-0,14
B4	Ayi Guinou X : 363552 Y : 692510	H1 - B4	2	6,51	92,01	1,42	0,06	0,7	0,7	1,92
		E1 - B4	0,5	3,74	96,04	0,2	0,02	0,7	0,7	0
		AVP-B4	-0,75	31,2	67,6	1,1	0,1	0,36	0,4	-
		AVP'-B4	-1,5	20,91	78,22	0,75	0,12	0,5	0,5	0
B6	Grand Popo X : 368421 Y : 693661	H1 - B6	2	16,78	81,94	1,22	0,06	0,78	0,88	-0,21
		E1 - B6	0,5	8,69	90,85	0,46	-	0,72	0,77	-0,1
		AVP-B6	-0,75	61,73	37,65	0,59	-	-	-0,31	-
		AVP'-B6	-1,5	51,3	47,5	1,2	-	-	-0,02	-
B7	Avlo Plage X : 378376 Y : 695297	H1 - B7	2	43,13	56,62	0,21	0,04	0,16	0,15	0,02
		E1 - B7	0,5	0,7	98,1	1,2	-	1,08	1,08	0,03
		AVP-B7	-0,75	60,08	38,2	1	-	-	-0,35	-
		AVP'-B7	-1,5	23	73,1	3,8	0,1	-	0,88	-

Source : ARTELIA, 2019

Dans le cadre de l'étude APD sur le linéaire du projet au Bénin, NORDA STELO, en 2016, des échantillons en mer ont été prélevés dans les fonds de sable grossier et analysés afin de confirmer la faisabilité d'une solution de type rechargement massif. Des sables marins de plus de 800 µm de diamètre médian sont présents au-delà de 12 m de profondeur, soit des élévations de fond maximales dans lesquelles l'Entreprise serait autorisée à prélever des sédiments.

Beach rock



Le beach-rock ou grès de plage représente une ancienne plage, parallèle à l'actuelle. Il se forme dans les sédiments meubles holocènes immobiles. Sa mise en affleurement résulte de l'érosion de la plage actuelle qui le recouvre. Il fait partie intégrante de la géomorphologie du littoral du Golfe du Bénin. Il affleure en divers points du littoral présentant une morphologie qui est en rapport avec l'état de dégagement des sables.

La figure 30 montre la présence de roches et gorgones dans la zone du projet. Elles sont bien développées sur les fonds de moins de 15 mètres. Cependant, la présence de beach-rock n'est signalée qu'entre Allongo (à l'Ouest) et Hakoué (vers l'Est) avec quelques interruptions, et ceci sur plusieurs kilomètres de long dans le cours inférieur du Mono Gaillard et al (1982). Il s'agit de grès indurés de faible épaisseur à stratifications obliques, visibles aux très basses marées (Adoté BLIVI, 1998). Par sondage pénétrométrique et par le biais de l'érosion marine, plusieurs alignements de beach-rock ont été identifiés et font partie intégrante de la morphologie côtière. Le beach-rock est présent sur les plages aérienne et sous-marine, dans la lagune d'Aného et dans les cordons sous l'aspect de concrétions intrasédimentaires. L'alignement le plus apparent, bien consolidé, se trouvant sur l'estran à différentes altitudes, a été cartographié et joue un rôle important dans la morphodynamique côtière. Apparu sur l'estran en 1975 à l'est de la contre jetée du port, il affleuraient sur 8 km de longueur en 1980 avec une stabilisation du trait de côte entre 30 et 60 m en arrière du beach-rock. En 1984, il fut observé sur 15 km et en 1988 sur toute la côte togolaise (Adoté BLIVI, 1998). La plage sous-marine est caractérisée par des alignements de beach-rock dont le plus apparent se situe à 50 m du rivage, d'altitudes comprises entre - 0,50 et + 0,80 IGN; il est visible à marée basse et son rôle est très négligeable dans la dissipation des énergies des vagues. Son exhumation ne résulte que de la récente morphodynamique côtière. Topographiquement, il est incliné vers l'Est: à l'est immédiat de la contre jetée du port son altitude varie entre +2.0 m à Robinson plage, +1.9 m à Baguida, +2.0 m à Tropicana - plage. L'altitude moyenne diminue en direction de l'est. L'épaisseur - les dalles superposées peuvent atteindre au maximum 7 m dans la zone immédiate du port, 4,50 m à Tropicana et entre 2 et 4 m à Aného.

D'après ARTELIA (2016), au Togo, le beach-rock est apparu en 1975 dans la zone immédiate à l'Est du port de Lomé. Au fur et à mesure que l'érosion progressait vers l'Est, les dalles superposées de beach-rock ont été exhumées des sables. Jusqu'en 1990, elles affleuraient sur environ 37 km de côte. La figure 30 cartographie la présence du beach rock en 2016 : il est actuellement plus apparent en partie Ouest de la zone d'étude (beach-rock émergent de manière quasi continue entre le port et Baguida-Plage) qu'en partie Est (discontinuités plus marquées entre Baguida et Kossi Agbavi et beach-rock plus proche du rivage). Il n'est pratiquement plus apparent sur l'ensemble du littoral à l'Est de Kossi Agbavi. Au Bénin, il n'y a pas de mention faite d'affleurement du beach-rock dans la bibliographie.



Figure 30: Configuration du beach-rock à l'Est du port de Lomé (d'après les images satellites 2015)
Source : ARTELIA, 2020

4.3.5. CONTEXTE GEOTECHNIQUE

Données

Aucune donnée géotechnique n'est à ce jour disponible dans la zone d'étude. Les données les plus proches dont nous disposons à ce jour, ont été collectées dans la zone du Port de Cotonou (Bénin), au cours de plusieurs campagnes d'investigations géotechniques et géophysiques associées aux différentes phases de développement du port. Nous avons également connaissance d'études au niveau du terminal phosphatier de Kpémè (Togo) et du port de Lomé (Togo). Cependant, à ce jour, nous ne disposons pas de ces études spécifiques. Un résumé des études antérieures dans la zone du port de Cotonou est présenté ci-après :

- étude géotechnique 1989 (Boskalis 1989) : Port de Cotonou – Etude des problèmes sédimentologiques – Programmation des campagnes de dragage du chenal d'accès et du bassin portuaire. Ces investigations incluent quelques prélèvements de sédiment en surface uniquement (jusqu'à environ 4 m sous le niveau du fond marin). Sur la base des sédiments prélevés, le profil stratigraphique dans le chenal comprend du sable et des vases/vases sableuses de faible portance.
- étude géotechnique 2008 (OTD 2008) : Actualisation du plan directeur : étude de faisabilité détaillé, d'avant-projet et d'impact sur l'environnement – Projet du Quai Sud à conteneurs. Le rapport d'étude contient un résumé des données géotechniques collectées au cours de diverses campagnes précédentes associées à la réalisation des ouvrages suivants dans le port de Cotonou : poste pétrolier en palplanches, traverses en palplanches, quai du commerce en palplanches et quai du commerce en parois moulées. Ces données indiquent la stratigraphie suivante :



- de la base du remblai à environ 14 m de profondeur : sable avec débris de coquillages, fin à moyen, lâche ;
- de 14 m à 17 m de profondeur environ : sable avec débris de coquillages, fin à moyen, compact ;
- de 17 m à environ 20 m de profondeur : sable peu limoneux, fin, compact.

Le rapport d'étude présente également les données supplémentaires collectées au niveau des ouvrages suivants : terminal à conteneur et terminal Sud. La stratigraphie rencontrée est similaire à celle des autres sites avec cependant la présence localement de sols fins (limons argileux) :

- de 0 à 15.0 m de profondeur environ : sable avec débris de coquillages et sable limoneux, fin à très fin ;
- de 15.0 m à 17.0 m de profondeur environ : limon argileux, mous à très mous ;
- de 17.0 m à 25.0 m de profondeur environ : sable limoneux, moyen ;
- de 25.0 m à 40.5 m de profondeur environ : sable à sable peu limoneux, fin.

La présence d'une couche de limon argileux non rencontrée par ailleurs s'explique par la présence de paléo-chenaux comblés au cours du temps par des alluvions fines, comme expliqué par l'étude de géophysique réalisée en 2008.

- étude géotechnique 2013 (PMI 2013) : Reconnaissances géotechniques terrestres et maritimes autour de la Traverse et de la zone d'extension de la digue (rapport 13-041-PMI-RPT 002 Rev C préparé pour Sogea Satom, daté 16 décembre 2013).

La campagne était composée de 3 sondages destructifs avec Standard Penetration Tests (SPT) tous les 1.5 m jusqu'à une profondeur maximale de 19 m et 5 sondages carottés avec SPT et échantillonnage jusqu'à une profondeur maximale de 30.2 m. Les sondages montrent un profil stratigraphique naturel composé de sable de compacité moyenne à dense avec localement des couches argileuses intercalées de plusieurs mètres d'épaisseur.

Par ailleurs, des sondages géotechniques et des forages ont été réalisés par INROS LACKNER à l'Ouest immédiat du port de Lomé, avant les travaux de construction de l'épi d'arrêt des sables et de creusement de la darse LCT. L'analyse des sédiments prélevés en janvier 2009, à différentes profondeurs jusqu'à environ 8 m sous la surface de la plage Ouest, met en évidence des sables moyens à grossiers, de diamètres médians compris entre 0,3 et 0,7 mm.

Bilan

Sur la base des données disponibles dans les zones des ports de Cotonou et Lomé, il est vraisemblable que la zone d'étude se caractérise par la présence de sable plus ou moins fins et de sable coquillier sur plusieurs mètres d'épaisseur recouvrant des sables indurés/grés tendres (beach rock). Localement, la présence de lentilles plus argileuses est possible, notamment à proximité de l'embouchure de rivière. Dans les zones de forte érosion, le beach rock peut apparaître en surface.



4.3.6. ETAT MORPHODYNAMIQUE DES SEGMENTS DE COTE DANS LA ZONE DU PROJET

L'érosion des côtes et le recul du trait de côte le long du littoral Ouest Africain du Golfe de Guinée est un phénomène régional dont l'impact socio-environnemental est établi par de nombreuses expertises et rapports d'étude, effectués lors des dernières décennies. Dans ces pays côtiers l'érosion des segments de côtes est fonction de leur degré d'exposition, leur structure géologique, leur morphologie et les actions anthropiques.

De ce fait, les problèmes d'érosion et du recul du trait de côte son liées aux facteurs naturels et anthropiques.

- **Au Togo**

La dynamique régionale de l'évolution des phénomènes côtiers a amené les pays ouest africains avec l'appui de l'UEMOA à élaborer un schéma directeur d'aménagement du littoral de l'Afrique de l'Ouest (SDLAO) en 2010.

Ce schéma a proposé une sectorisation du littoral togolais en cinq (5) zones, prenant en compte le phénomène de l'érosion côtière, la nature des installations et la densité de la population.

En tenant compte des paramètres ainsi répertoriés, les cinq (5) secteurs se présentent comme suit, en fonction des points kilométriques (PK) :

- le TG1a : qui va du Pk0 (frontière Ghana) au Pk4, zone frontalière soumise à une érosion relative sur 2 km ;
- le TG1b : qui va du Pk4 au Pk11. C'est la zone d'accumulation du sable et des installations portuaires sur 9 km ;
- le TG1c : qui va du Pk11 au Pk25. C'est la zone de concentration humaine de la ville de Lomé. Elle va du port de Lomé à Gbodjomé sur 14 km ;
- le TG1d : du Pk25 au Pk32. C'est la zone qui va de Gbodjomé à Agbodrafo qui s'étend sur 7 km ;
- le TG1e du Pk32 au Pk50 : C'est la zone qui va d'Agbodrafo à la frontière avec le Bénin sur 18 km.

La présente Etude d'Impact Environnement et Sociale concerne le secteurs TG1e sur lequel l'analyse de l'état morphodynamique de la côte est faite.

Deux périodes d'analyse de la dynamique côtière ont a été considérées :

- **la période 1964-1986 (22 ans)** : elle couvre l'intervalle de temps entre la construction du port de Lomé fin des années 60 et le début de la mise en place des systèmes de protection contre l'érosion de Kpémé et d'Aného en 1987 ; cette période permet donc d'évaluer l'impact du port sur l'évolution du trait de côte ;
- **la période 1988-2018 (30 ans)** : elle couvre l'intervalle de temps depuis le début de la mise en place des systèmes de protection de Kpémé et d'Aného jusqu'en 2018.

- ➔ **Evolutions sur la période ancienne 1964-1986**

L'arrêt des sables par la jetée du port a engendré une rapide et spectaculaire érosion des plages à l'Est de celui-ci. Cette érosion a progressé vers l'Est, tout le long des 40 km de côte.

L'érosion a été ressentis sur le secteur TG1e à partir des années 1975-1981. La trait de côte reculait à Kpogan d'environ -10 m/an tandis qu'on enregistrait un recul de -5 m/an entre Kpémé et Goumou Kopé. Du PK43 jusqu'à la frontière, le trait de côte commençait par reculer très lentement. A partir des années 1980, la totalité du littoral à l'Est du port de Lomé était ainsi affectée par l'érosion, à un rythme variable selon les différents segments de côte. De 1986 à 1992, le recul variait de 20 à 100 m selon les secteurs, soit en moyenne -3 à -17 m/a (Blivi, 1993).

➔ Evolutions sur la période récente 1988-2018

D'après les travaux de Blivi (1993) : période de 1987 à 1990

L'érosion violente sur la côte togolaise a amené la réalisation en 1987 des travaux de protection par un système d'épis courts et de brise-lames dans les secteurs d'importance socio-économique du TG1e à Kpémé et à Aného. Dans le secteur de Kpémé, les levés topographiques de 1987 à 1990 montrent l'évolution du trait de côte dans les casiers (Figure 31). A la faveur du transit littoral capté par les épis, le trait de côte a progressé assurant ainsi la protection du secteur.

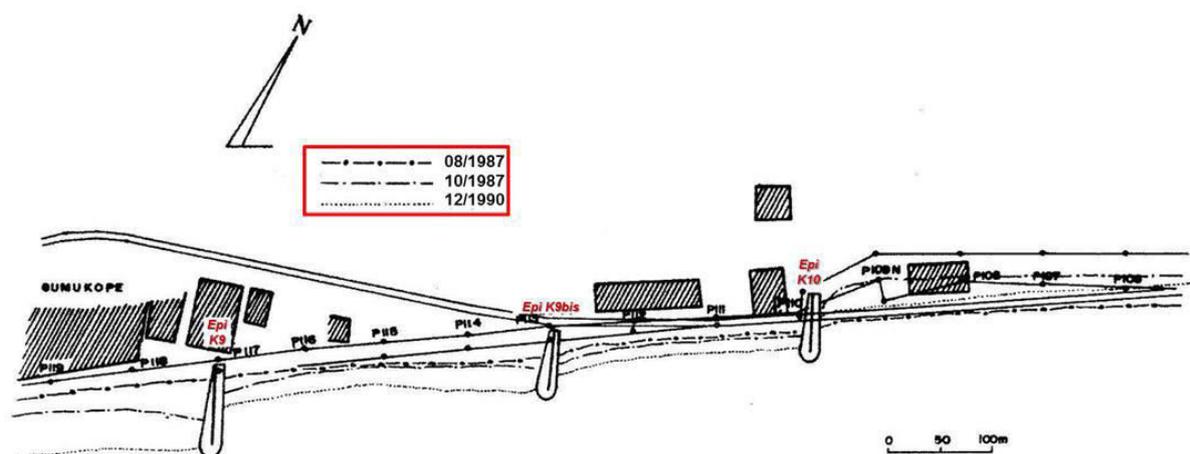
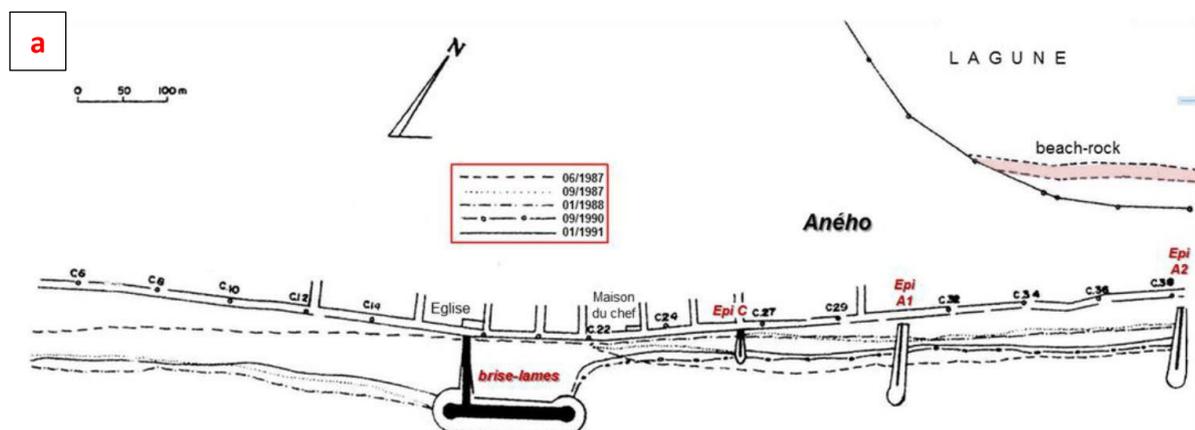


Figure 31: Evolution du trait de côte dans le secteur de Goumou Kopé après la construction des épis en 1987 (Blivi, 1993)

Dans le secteur d'Aného, le même constat a été effectué avec la batterie de 5 épis et d'un brise-lame comme le montre la figure 32 a et b.



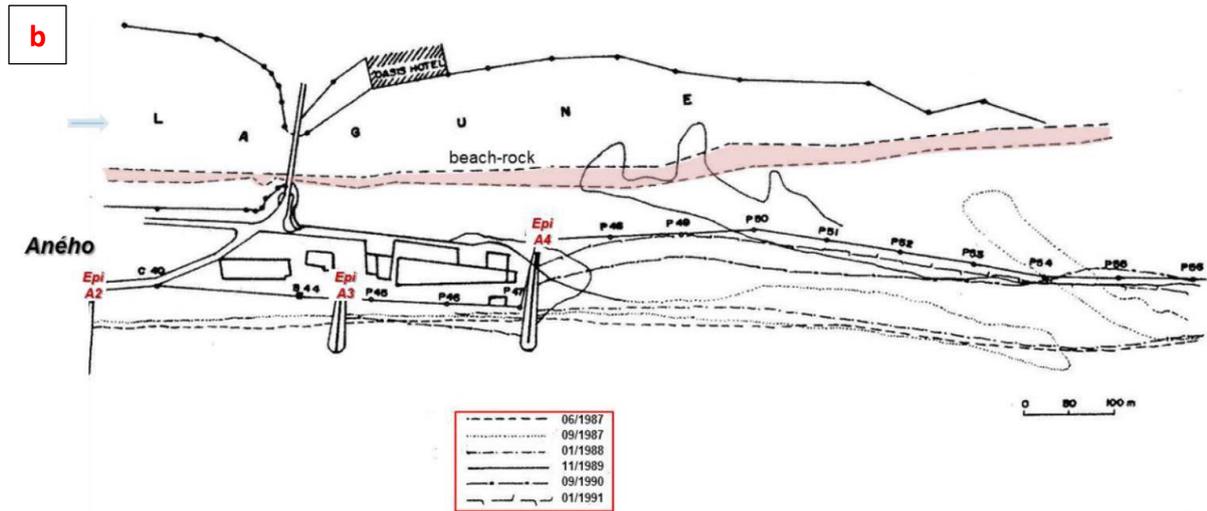


Figure 32 : Evolution du trait de côte dans le secteur d'Aného après la construction du brise lame et des épis en 1987 (Blivi, 1993)

Selon ARTELIA (2016 b) : période 1988 à 2015, l'analyse des images satellitaires a permis de subdiviser cette période en trois sous-période à savoir afin de mieux appréhender la dynamique côtière. Les positions du trait de côte obtenues sont consignées dans la figure 33.

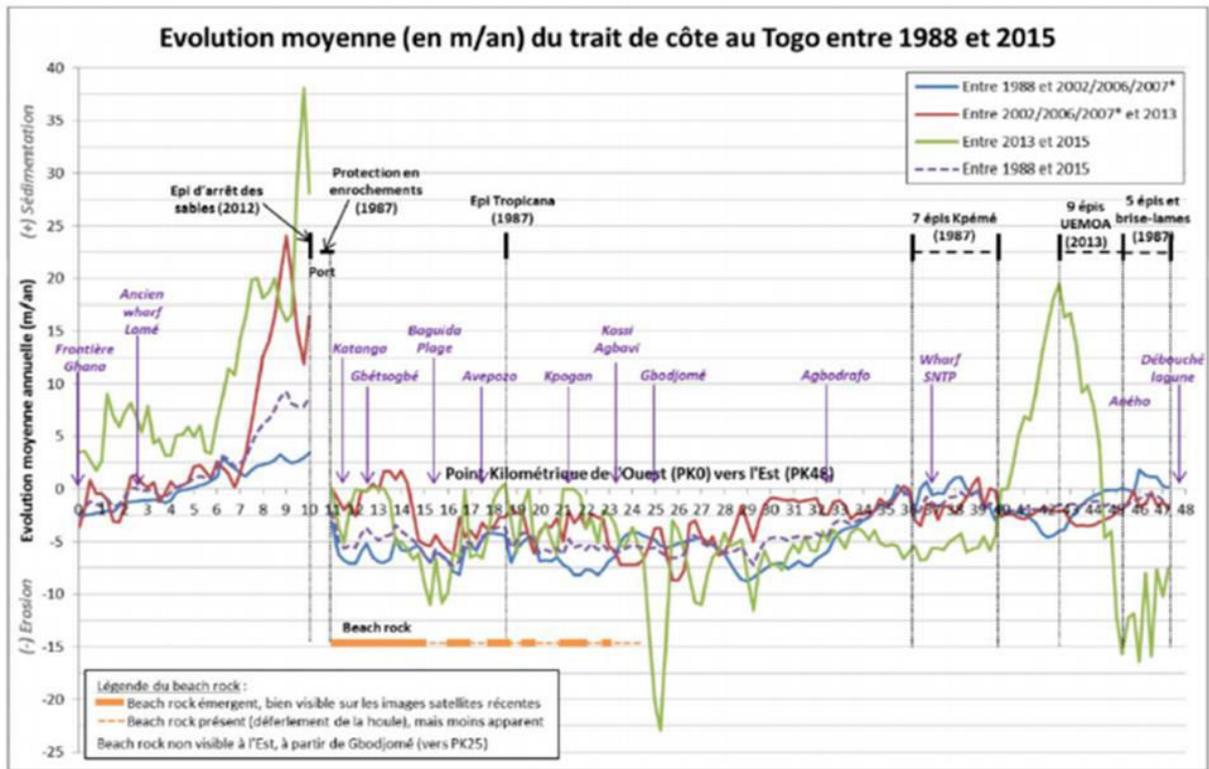


Figure 33: Evolutions moyennes du trait de côte togolais de 1988 à 2015

Source : Artelia 2016 b ; 2020a

De l'analyse de la figure 33, Il ressort que :

- Entre Gbodjomè et Agbodrafo, une érosion moyenne de l'ordre de -3m/an est notée
- entre les 7 épis de Kpémé (PK36 à PK40) : une stabilisation du trait de côte sur la période 1988-2002 et une érosion à l'aval du dispositif (-4 à -5 m/an vers PK42) ; entre 2002 et 2013, une érosion locale dans les casiers (de -1 à -2 m/an) pouvant s'expliquer par la saturation des épis et le rétablissement progressif du transit au-delà de leur musoir (contournement des épis) ;
- au niveau des 5 épis et du brise-lames d'Aného (PK45,5 à PK47,5 : le comportement général est similaire à celui des épis de Kpémé excepté sur la période 2013-2015 où l'érosion est bien plus marquée dans les casiers ;
- les 9 épis UEMOA - PK42,5 à PK45,5 : l'effet de cette nouvelle série d'épis mis en place en 2012-2013 se traduit par une forte avancée du trait de côte au niveau de ces casiers sur la période 2013-2015. A contrario, un recul dans les anciens casiers à l'Est lié au blocage d'une partie du transit littoral par les nouveaux épis ; le transit littoral a été progressivement rétabli au fur et à mesure de la saturation des nouveaux casiers.

Ces résultats ont été confirmée par Konko et al (2018) qui ont procédé à une analyse de l'évolution moyenne du trait de côte togolais. Ainsi, à partir d'images satellitaires datant de 1988, 2000, 2013 et 2018, ils ont subdivisé cette portion de côte en 8 sous-secteurs pour faciliter l'analyse (figure 34). Les sous-secteurs 5 à 8 sont concernés par la présente étude (Agbodrafo - Aného).

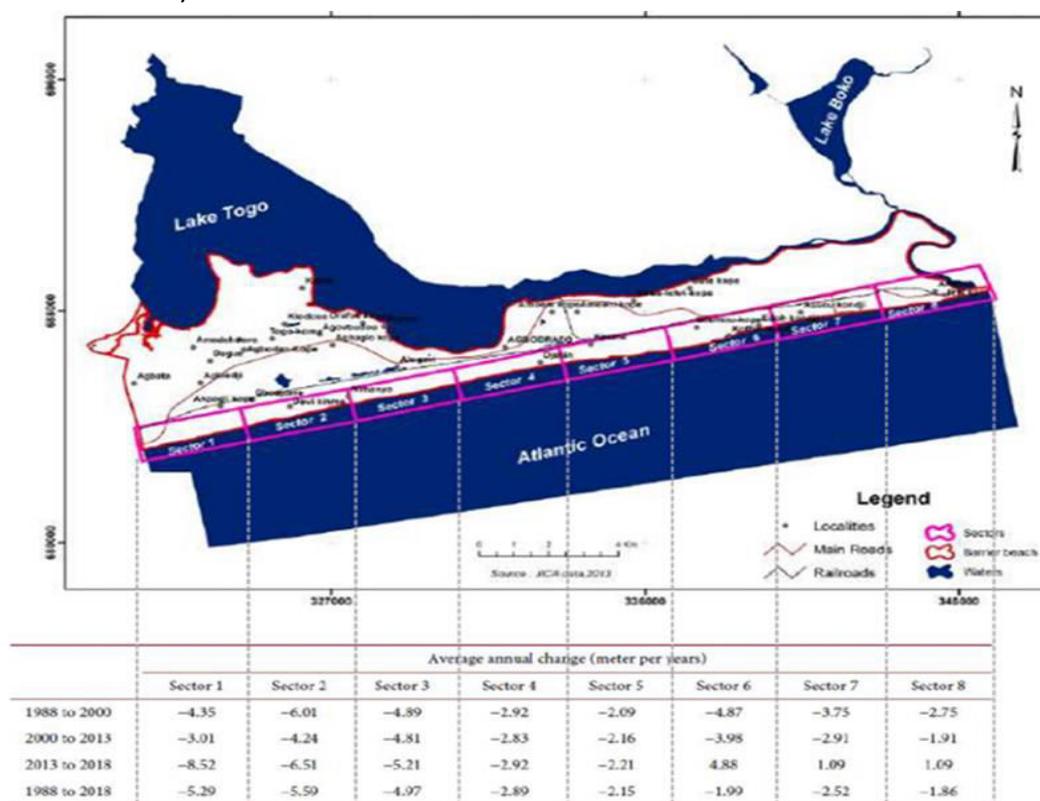


Figure 34 : Evolutions moyenne du trait de côte, de 1988 à 2018

Source : Konko et al, 2018

L'évolution moyenne du trait de côte sur les 30 dernières années est estimée à -3m/an à Agbodrafo, en accord avec les données d'ARTELIA (2016).

- **Du coté béninois**

Dans la partie béninoise du segment transfrontalier du Bénin-Togo, l'étude de la cinématique du trait de côte et de la morphodynamique des plages a permis de distinguer trois segments de côte entre Hillacondji et Djondji : (i) Hillacondji-Agoué ; (ii) Agoué-Avlo et (iii) Avlo- Embouchure la bouche du Roy (Bio Djara, 2018).

- **Sur le segment de côte entre Hillacondji – Agoué**

Une analyse diachronique a été réalisée sur les localités de Hillacondji et entre Agoué et Zogbédji sur la période 1984 -2016 (Norda Stelo, 2016 & Bio Djara, 2018). Des résultats de cette analyse, il ressort qu'au niveau d'Hillacondji, un recul maximal du trait de côte de 200 m est observé durant cette période. Par contre à l'Ouest de Hillacondji vers la partie togolaise, le recul du trait de côte est estimé à 300 m, soit un recul localement supérieur à 10m/an.

Du PK 12 au PK 20,5, le trait de côte est également en érosion constante mais moindre, avec un recul maximal de l'ordre de 50 m entre 1984 et 2016, soit un recul compris entre 1 et 2 m/an. L'influence des épis d'Aného se fait donc sentir sur environ 18 km à l'Est du dernier épi. Mais à l'Est du PK 20,5, la côte est globalement stable ou en légère accrétion entre 1984 et 2016 (figure 35).

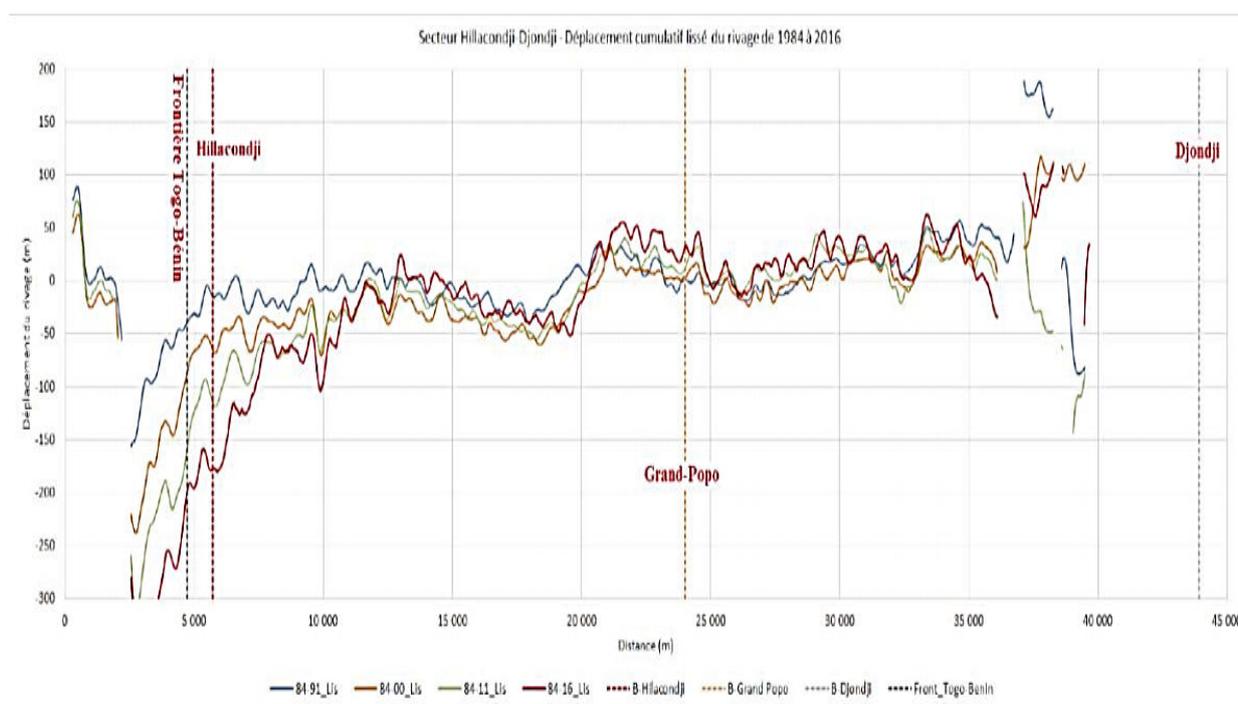


Figure 35: Déplacement lissé du rivage sur différentes périodes d'analyse entre 1984 et 2016 (en m) (NORDA STELO, 2016)

Par ailleurs, l'analyse du secteur d'Hillacondji et d'Agoué à partir d'images satellitaire en 1987, 2012 et 2018 indique une différence de comportement entre la période 1987- 2012, avec un recul contenu de 2 à 3m/an et la période 2012-2018 avec un recul compris entre 15 et 5 m/an d'ouest en est. Cette différence peut s'expliquer par la construction des épis UEMOA à l'Ouest d'Aného en 2012 (SEGO, 2019, figure 36).

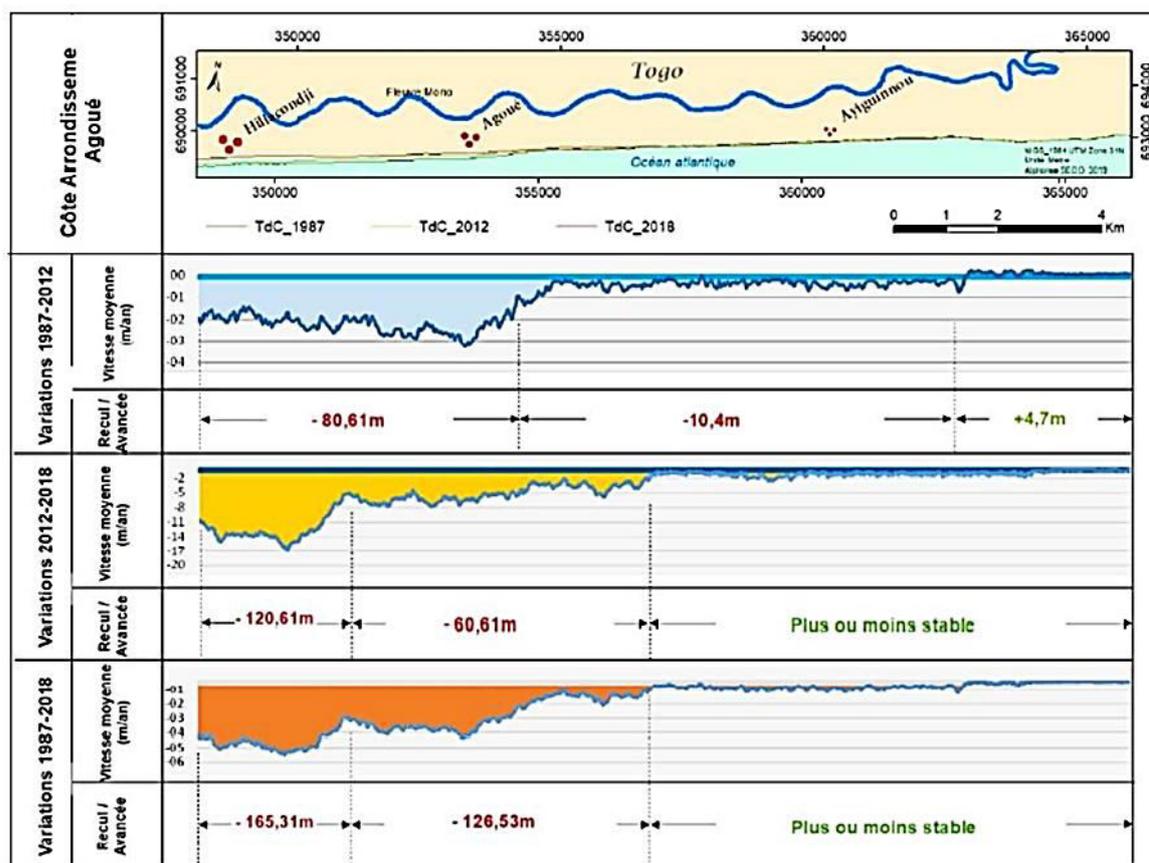


Figure 36: Comparaison de l'évolution du trait de côte sur les périodes d'étude, d'après SEGO, 2019

De tous ces travaux, on retient que dans ce segment de côte transfrontalier, la manifestation des phénomènes d'érosion côtière remonte aux années 1980 avec pour corollaire la construction des épis d'Aného au Togo en 1986 (Planche 1a). Face à l'inefficacité de ces ouvrages de protection à Aného, en 2012, le Togo a entrepris la réhabilitation des ouvrages existants et la stabilisation de l'embouchure du lac d'Aného. Le nouveau fonctionnement de ces ouvrages occasionne dès lors un blocage systématique d'une bonne partie du budget sédimentaire en transit vers la côte béninoise.



Planche 1 : Champ d'épis de protection de côte construit en 1986 à Aného (a) et en 2012 (b)

Source: (Image: Laibi, 2012)

■ Présentation du segment de côte entre Agoué-Avlo

La plage entre Agoué et Avlo évolue dans le contexte d'un équilibre dynamique avec un bilan d'engraissement, à un rythme moyen de 1,36 m/an. Les données recueillies et mesures de terrain ont montré que ce segment de côte a connu une forte érosion entre 2012 et 2013, suite à la perturbation du système par la réhabilitation des épis d'Aného. De 2013 à 2016, la côte passe par des phases d'engraissement puis d'érosion qui traduit l'équilibre dynamique du rivage. En effet, de 1982 à nos jours, on note un équilibre dynamique parfois interrompu par des épisodes d'érosion exceptionnels comme celui de 1986 où le rivage a reculé de 15 m en 18 mois devant l'ancienne Mairie de Grand-Popo, celui de 2015 où la ligne de côte a connu un recul de 13 m en 10 mois (mars 2015- janvier 2016) à hauteur de la station d'observation de la dynamique côtière de Gbècon à Grand-Popo.

■ Présentation du segment de côte entre Avlo et l'Embouchure (Bouche du Roy)

En raison de l'instabilité de la Bouche du Roy depuis la mise en service du barrage de Nangbéto sur le fleuve Mono en 1987, ce segment de côte évolue dans un contexte d'érosion et d'accumulation. En effet, avant la construction de ce barrage, la Bouche du Roy était une embouchure temporaire caractérisée par des cycles d'ouvertures et de fermetures ; les ouvertures n'étant pas toujours naturelles (Guilcher, 1959 ; Pliya, 1976 ; Oyédé, 1991). Ces cycles d'ouvertures et de fermetures de la Bouche du Roy se traduisaient par d'intenses phénomènes de remaniement de plages limités toutefois en face de l'île de Kouéta. Ce qui conduisait à une relative stabilité de position (Balouin, 2001).

Après la mise en service du barrage, en 1987, la Bouche du Roy est devenue une embouchure permanente qui effectue une migration sans cesse dans le sens de la dérive littorale à une vitesse moyenne de 13,6 mètres par mois (Bio Djara, 2018).

4.3.7. TRANSPORT HYDRO-SEDIMENTAIRE DANS LA ZONE DU PROJET

Les flux sédimentaires déterminent l'évolution des systèmes côtiers. Au Togo et au Bénin, les plages sableuses sont principalement alimentées par les apports sédimentaires des fleuves Mono et Volta, redistribués ensuite au travers d'une puissante dérive littorale ouest-est (ROSSI, 1989).



4.3.7.1. Transport sédimentaire lié à la dérive littorale

L'obliquité de la houle au déferlement par rapport au rivage varie entre 4° et 9° , avec une moyenne autour de 6° - 7° . Elle entraîne un courant de dérive littorale qui longe les plages de cette partie du golfe du Bénin. On estime que, ce courant a une capacité de transport comprise entre 1 et 1,5 million de m^3 /an (NEDECO, 1975, LACKNER, 1983 et LCHF, 1984). Ces estimations montrent que la quasi-totalité du transit s'effectue entre + 2 et - 2 m, avec un maximum autour de + 0,30 m; 75 % de ces mouvements sédimentaires se faisant entre + 0,80 et - 0,50 m, autrement dit dans le déferlement.

Dans la zone du projet, les processus sédimentaires ont été fortement perturbés suite à la construction du port en eau profonde de Lomé entre 1964 et 1966 (Hayes, 1985), qui génère un gradient de transport littoral. Si un engraissement a été observé à l'ouest du port, l'érosion régulière enregistrée à l'Est du port (Hayes, 1985 ; Rossi, 1989), dont le secteur entre Gbodjomé et Kpémé, a suscité la mise en place d'un important programme de protection. C'est l'exemple des différents aménagements au débouché lagunaire d'Aného (5 épis et 1 brise lame réalisés en 1987 ; plus le système d'enrochement sur 500 m), et à l'ouest du débouché (9 épis de l'UEMOA), qui ne sont pas également sans conséquences sur les processus sédimentaires car, vers l'Est, l'érosion entre Hillacondji et Grand Popo est liée à la reprise progressive du transit littoral, mais avec une côte en équilibre entre Grand Popo et la Bouche du Roy.

Par ailleurs, à l'Est du port de Lomé, l'érosion a conduit dès 1970-1971, à l'exhumation progressive du beach-rock, qui en dispersant l'énergie du déferlement sur sa surface, peut bloquer les transferts sédimentaires et contribuer à l'arrêt du recul du trait de côte. A côté de ce rôle barrière, le beach-rock participe à l'arrêt de la fourniture de sables à la dérive et à l'accroissement progressif du déficit sédimentaire en direction de l'Est (Rossi, 1996).

Récemment au Togo, la modélisation de l'évolution du trait de côte réalisée par ARTELIA (2017) entre la frontière ghanéenne (PK0) et le débouché de la lagune d'Aného (PK48) sur la période 1988-2015 (27 ans) a permis d'évaluer le transit littoral aux limites du modèle comme suit :

- condition limite Ouest (Ouest de Lomé) : transit entrant de 800 000 m^3 /an ;
- réglage de la condition limite Est (Hillacondji) : transit sortant de 650 000 à 700 000 m^3 /an.

Le bilan sédimentaire qui sous-tend les ouvrages retenus dans la zone du présent projet, indique que 210 000 m^3 /an de sédiment parviennent à Gbodjomé par érosion de la côte et ce volume s'ajoute 690 000 m^3 /an issus de l'érosion du secteur entre Gbodjomé et l'Ouest des épis de Kpémé. Par le jeu d'accrétion, dû aux ouvrages de protection entre Kpémé et Aného, seulement 660 000 m^3 /an y ressortent, lesquels combinés à la charge de 450 000 m^3 /an érodées entre Hillacondji- Grand Popo et aux 10 000 m^3 /an provenant de la lagune d'Aného, font du transit littoral béninois l'un des plus importants au monde (Artelia & BCI ; 2020a). Sur les côtes béninoises, les travaux antérieurs faisaient état d'un transit de l'ordre de 1 à 1.2 M m^3 /an en amont de Cotonou (Almar et al ; Abessolo et al., puis ARTELIA, 2019).



4.3.7.2. Transport sédimentaire liés à l'élévation du niveau marin due au changement climatique

Le flux sédimentaire liés à l'élévation du niveau marin a été estimé avec la règle de Bruun qui s'appuyant sur le principe de conservation de la masse, considère que l'élévation du niveau marin génère une érosion à la côte et un recul du trait de côte. Les pertes vers le large sont estimées à 50,000 à 100,000 m³/an sur l'ensemble de la zone d'étude (ARTELIA- BCI Consult, 2020a).

4.3.7.3. Transport fluvial

Dans la zone du projet allant d'Agbodrafo à la Bouche du Roy, le Mono est le principal cours d'eau qui imprime la dynamique hydrosédimentaire dans le système fluvio lagunaire du Mono-Couffo. Du côté du Togo, des apports solides sont fournis via les rivières Haho, Zio et Boko qui alimentent le lac Togo, lequel communique avec la lagune d'Aného.

▪ Le Mono

Avant la construction du barrage hydroélectrique de Nangbéto, la capacité de transport solide du Mono à Nangbéto avoisine théoriquement 900 000 m³/an (Rossi, 1996). Environ 800 000 m³ de sédiments étaient retenus en aval de Nangbéto et par le jeu de transport par suspension et charriage vers l'estuaire (la Bouche du Roy), 100 000 m³/an de sable sont déversés dans la mer (Adam, 1986 ; Oyédé, 1991 ; Rossi et Blivi, 1995 ; Blivi, 2000a et 2005, Amoussou, 2010).

La mise en service du barrage Nangbéto en 1987 a provoqué un certain nombre de perturbation hydrologiques et sédimentologiques. L'ouverture permanente de la Bouche du Roy enregistrée après la mise en service du barrage de Nangbéto permet ainsi en période d'étiage des entrées d'eaux marines qui entretiennent une faible salinité dans le chenal lagunaire. De plus, du stock de 900.000 m³ qui parvient à la retenue, environ 540 000 m³ de sédiments sont piégés ; ainsi aux 360 000 m³ de sédiments restants s'ajoutent ceux remobilisés dans la basse vallée Mono pour alimenter le système lagunaire (Adam, 1986 ; Oyédé, 1991 ; Rossi et Blivi, 1995). En conséquence, par le jeu des processus sédimentaires, la fourniture des sédiments à la dérive littorale par le fleuve Mono passerait de 100 000 m³/an à 25 000 m³/an (Rossi et Blivi, 1995). A l'horizon 2037, des prévisions montrent que ces apports deviendront nuls, c'est-à-dire inefficace pour alimenter la dynamique côtière (BLIVI, 2000 ; Ozer *et al.* 2017).

Notons que, le fonctionnement hydrosédimentaire actuel semble de plus en plus hypothéquer les prévisions de BLIVI (2000) quant à la contribution du Mono à la dérive littorale. Car, sous l'action érosive du Mono, il est noté une importante remobilisation des sables du cordon externe situés en bordure de la lagune de Grand-Popo. En effet, la simulation des courants d'eau qui assurent le transfert des sédiments au niveau de cette portion lagunaire révèle des vitesses de courant atteignant 1,43 m/s (LaboGME, 2020). L'ampleur de l'érosion se manifeste par la morphologie concave de la rive à la place du 10 janvier, et s'explique à travers la distribution des vitesses d'eau (LaboGME, 2020) qui montre des courants très rapides avec de fortes vitesses. Cette modélisation reflète donc la vulnérabilité de la bordure nord des cordons littoraux face l'érosion, contribuant ainsi à alimenter la dérive littorale.

A Gbècon, les empreintes de l'érosion et de l'effondrement des berges sont représentées par d'importantes falaises de 30 à 50 cm observées sur la rive droite du Mono notamment

dans les environs de la place du 10 janvier (planche 2). En bordure du lagon édifié au sein de la plage aval, il est également observé des falaises d'érosion dépassant 2 m de hauteur.



Planche 2: Relief montrant une falaise d'érosion en bordure de la rive gauche face à la place du 10 janvier (a), lagon édifié au sein de la plage proche de l'embouchure du fleuve Mono (b).
Source: Antea Décembre, 2020

❖ Les rivières Zio, Haho, Boko et le chenal d'Aného

Le chenal d'Aného au Togo constitue l'exutoire des petites rivières côtières (Zio, Haho, Boko), qui drainent des alluvions composées surtout d'argiles et de sables qui se déposent dans les lagunes Togo et Zowla, véritables bassins de décantation. Ces plans d'eau communiquent avec l'océan par le chenal d'Aného, au niveau duquel, le transit littoral reste bypass (ARTELIA-BCI Consult, 2020a). Pendant les crues, les sédiments fins et les argiles sont expulsés en mer et occasionnent un large panache turbide. Les sédiments grossiers et les sables sont déplacés sur de courtes distances le long des rives et participent peu au budget sédimentaire côtier, avec un apport estimé arbitrairement à 10,000 m³/an (figure 37, 38). A côté des principaux mécanismes responsables du transfert de matériaux, s'ajoutent les transports de matières dus aux tempêtes saisonnières et les transports éoliens sous l'action de vents de directions sensiblement opposées (harmattan et vent de la mousson). Les tempêtes saisonnières participent à l'érosion à court terme des sédiments qui sont déposés sur la plage par temps calme. Les transports de matières dus aux tempêtes saisonnières et les transports éoliens sont considérés comme étant peu important dans les processus sédimentologiques de la côte (Ibé et al., 1989 ; ARTELIA-BCI Consult, 2020a).

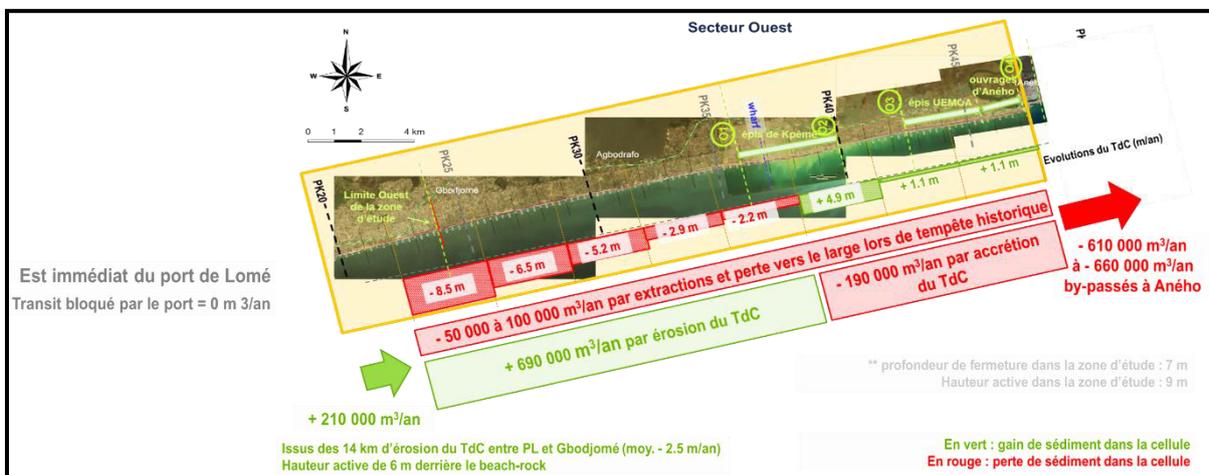


Figure 37: Schéma récapitulatif de la dynamique et bilan sédimentaire du littoral dans le secteur ouest de la zone d'étude

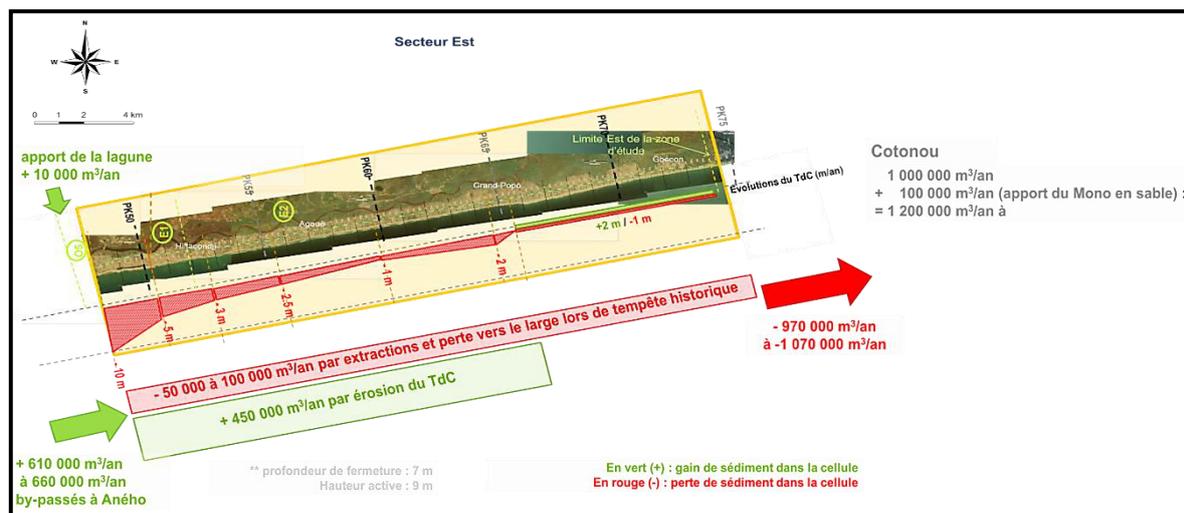


Figure 38: Schéma récapitulatif de la dynamique et bilan sédimentaire du littoral dans le secteur est de la zone d'étude

Source: ARTELIA-BCI Consult, 2020a.

4.4. ETAT DE POLLUTION DE LA ZONE D'ETUDE

La pollution liée à l'eau, à l'air et aux déchets fait partie des principaux facteurs de dégradation de l'environnement dans les zones côtières du Bénin, de la Côte d'Ivoire, du Sénégal et du Togo (Croitoru et *al.*, 2019).

4.4.1. ETAT DE POLLUTION DE LA ZONE D'ETUDE AU BENIN

L'état de pollution dans la zone d'étude est présenté en considérant les informations existantes sur la zone côtière du Bénin en général.

➤ Pollutions marine et côtière

L'environnement marin subit aujourd'hui une pression anthropique grandissante due à l'intensification du développement urbain, industriel et portuaire dans la zone côtière. Ainsi, les principales sources de la pollution marine au Bénin sont : (i) le déversement des eaux usées domestiques et industrielle en prévenance des villes côtières, (ii) le déversement des eaux continentales au niveau des embouchures notamment celui du bassin de l'Ouémé et du bassin du Mono, et enfin (iii) les pollutions issues des activités maritimes.

La pollution marine est la conséquence des activités humaines à travers les effets directs et indirects. Quelque effet direct de l'Homme sur le milieu marin béninois :

- la pollution en hydrocarbures de l'environnement marin par les cinq (05) plateformes pétrolières offshore abandonnées au large dans la Commune de Sèmè-Kpodji et dix (10) puits de gisement non bouchés. Ces installations sont en perpétuelle dégradation et laissent fuiter du pétrole dans le milieu marin (MCVDD, 2020).

- le dégazage des bateaux en pleine mer aggrave la dégradation des eaux marines sans que la gravité de ces impacts soit réellement définie, faute d'études appropriées. Les eaux de ballastage des navires sillonnant les côtes béninoises sont en grande partie responsables de la présence plus ou moins de boulets de goudron et de débris marins sur les plages rendant ainsi celles-ci impropres aux activités touristiques et aux loisirs (CEDA, 2007).
- le déversement accidentel d'essence dans l'environnement marin et lagunaire lors du trafic illicite d'essence entre le Bénin et le Nigeria. Des images prises par Accalogoun (2017) montre des preuves de ce trafic d'essence sur la plage d'Hillacondji (planche 3).



Planche 3 : Activités de trafic illicite d'essence sur la plage d'Hillacondji au bord de la lagune
Source : Accalogoun Léandre, Mai 2017

La modification de la constitution physicochimique du milieu marin, conséquences des actions humaines ci-dessus mentionnées, peuvent affecter négativement l'écosystème marin et l'Homme directement ou indirectement à travers les ressources biologiques comme les produits halieutiques issus de la pêche ou/et des échouages d'algues marines.

Par rapport à la pollution de la côte par les algues marines, il est constaté, depuis quelques années, des échouages d'algues marines. Selon l'Institut des Recherches Halieutiques et Océanologiques du Bénin (IRHOB, 2018 cité par MCVDD, 2020), ces algues surviennent sur les côtes du Bénin à partir du mois d'avril de chaque année. Elles sont d'espèces *Sargassum*, originaires de la mer des Sargasses. A l'instar du Bénin ces algues sont constatées sur toute la côte de l'Afrique de l'Ouest (MCVDD, 2020). La photo 1 les algues marines sur la palge de Grand-Popo.



Photo 1 : Echouage des algues marines (*Sargassum*) sur la plage de Grand-popo
Source : ACL Consultant et INROS LACKNER, avril 2021

➤ **Pollution par les déchets industriels**

Les sources industrielles de pollution sont les activités industrielles concentrées notamment dans le Grand Nokoué (Cotonou, Sèmè-Kpodji, Abomey-Calavi, Porto-Novo). Les grandes unités industrielles sont concentrées dans la zone côtière du Bénin (80%). Celles-ci produisent des déchets liquides déversés dans les eaux lagunaires et/ou directement dans la mer et se retrouvent dans la nappe phréatique. Par ailleurs, des émissions atmosphériques (particules fines, fumées) sont également source de pollution de l'air, puis de l'eau.

A la côte ouest du milieu marin béninois où se trouve la commune de Grand-Popo, l'écosystème est pollué par le déversement constant du déchet de phosphates provenant de l'usine d'exploitation de phosphates à Kpémè au Togo, pays voisin au Bénin. Cette pollution qui date de plusieurs décennies est constatée depuis la frontière d'Hillacondji jusqu'à plus de 50 km (Ouidah à Avlékété) le long de la côte béninoise. Elle est visible par la coloration de la mer et perturbe l'environnement marin et son écosystème (MCVDD, 2020).

Les sources agricoles de pollution sont les mauvaises pratiques agricoles résultantes de l'utilisation inappropriée des engrais, des pesticides et autres intrants chimiques qui contribuent à la pollution du sol et des unités hydrographiques (cultures maraichères, cultures céréalières et plantations d'ananas) (MCVDD, 2020).

➤ **Pollution par les déchets ménagers**

Les sources ménagères de pollution sont les grandes agglomérations qui produisent des déchets solides et liquides en quantité sans cesse croissante. C'est notamment les villes côtières de Cotonou, Porto-Novo, Sèmè-Kpodji, Abomey-Calavi, Ouidah et Grand-Popo. A peine 30 % des déchets domestiques produits font l'objet d'un véritable traitement et le reste se retrouve dans la nature. Dans les zones humides côtières où la nappe phréatique est peu profonde, celle-ci est sujette à des risques de contamination (MCVDD, 2019).

La commune de Grand-Popo ne dispose pas d'une filière organisée de collecte et de traitement des déchets solides ménagers comme c'est le cas des villes du Grand-Nokoué (Cotonou, Porto-Novo, Sèmè-Kpodji, Abomey-Calavi et Ouidah). Toutefois, il y a des services de précollecte des déchets solides ménagers à Agoué, Grand-Popo et Hillacondji par les



ONGs SALVAGUARDIA et PROGIDEC. Mais il y a une faible couverture des services de précollecte dans la commune (Mairie de Grand-Popo, 2013). De ce fait, il y a plusieurs décharges sauvages dans la commune.

Le secteur de l'hygiène et assainissement connaît encore des difficultés dans la commune de Grand-Popo en raison du faible taux de couverture des ménages en latrines 6,0% (soit 9 latrines en moyenne par village 691 latrines familiales en 2010 (tous types de latrines confondus dans toute la commune) (Mairie de Grand-Popo, 2013 p.19).

Ces divers actes de pollution mettent en mal la majorité des services écologiques attendus des écosystèmes aquatiques du Sud-Bénin.

4.4.2. ETAT DE POLLUTION DE LA ZONE D'ETUDE AU TOGO

Les impacts des activités socio-économiques de la zone côtière sont ressentis dans tous les compartiments de l'environnement (air, eau et sols).

➤ Pollution marine

La pollution marine causée surtout par les déversements directs des eaux d'égouts non-traitées des ménages et des hôtels situés sur la côte et des eaux usées des industries installées sur la côte togolaise. De nombreux exutoires des effluents urbains des villes côtières (Lomé, Baguida, etc.) sont situés directement dans la mer. Les ruissellements des eaux de pluie et les déversements du trop-plein des lagunes dans la mer sont aussi des sources de pollutions secondaires (Djakambi, 2020).

Dans le cas du traitement du minerai phosphaté, l'élimination des effluents et des boues de phosphates dans les eaux côtières a un impact négatif sur la faune marine et aquatique ainsi que sur la flore et modifie les paramètres physico-chimiques de l'océan. Ce déversement transforme la mer en une couleur jaunâtre démontrant sa toxicité par les métaux lourds (MEDDPN/ANGE, 2020).

➤ Pollution de l'air

L'exploitation minière contribue considérablement à la pollution atmosphérique du fait des particules de matières transportées par le vent, à la suite de fouilles, d'abattages par explosion, de transport de matériaux, de l'érosion par le vent, des poussières provenant des installations de résidus, des décharges de résidus et des routes de pénétration dans l'espace des carrières et par les gaz issus de l'utilisation d'explosifs.

Le secteur de l'industrie a globalement émis en 2013 du CO₂ évalué à 473,736 Gg et les émissions de CO₂ provenant de la production de clinker sont estimées à hauteur de 473,736 Gg (MEDDPN/ANGE, 2020).

➤ Pollution de la lagune

Le complexe lagunaire d'Aného, est un hydro système dont les eaux sont influencées par la remontée des eaux marines par l'intermédiaire de la passe au niveau d'Aného en saison



sèche. Ceci favorise ainsi la contamination des eaux du système lagunaire par les eaux marines polluées par les rejets phosphatés (Gnandi et *al.*, 2006). L'accroissement urbain et industriel de la ville d'Aného et des localités environnantes de l'hydro système ne sont pas sans effets négatifs sur la qualité de l'eau et des sédiments du système Lac Zowla-Lagune d'Aného qui reçoit des eaux usées très polluées, chargées d'ions métalliques.

Les résultats d'analyse de l'eau montrent que le pH des eaux de la lagune d'Aného varie entre 6,90 et 8,22. Celui des eaux du lac Togo varie de 6,73 à 7,37 (Kamilou et *al.*, 2014). La conductivité des eaux varie de 47 000 à 51 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans la lagune d'Aného et de 14 880 à 21 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans le lac Togo. Il est noté que les eaux de la lagune d'Aného sont plus minéralisées que celles du lac Togo. La pollution des eaux marines par les effluents phosphatés qui y sont déversés de même que celle issue du déversement des déchets solides phosphatés sur la plage entraîne celle des eaux lacustres. Les concentrations moyennes en Cd, en Pb et en As sont respectivement de 0,05, 0,07 et 2,51 mg/l dans les eaux de la lagune d'Aného et de 0,05, 0,12 et 4,09 mg/l dans celles du lac Togo (Kamilou et *al.*, 2014).

Hodabalo et *al.* (2018) ont étudié la contamination métallique des sédiments du système Lac Zowla - Lagune d'Aného. Il est noté que les teneurs moyennes en mercure, arsenic, plomb cadmium, zinc, cuivre et chrome sont respectivement de 0,02mg/kg ; 2,8mg/kg ; 16,9mg/kg ; 1,2mg/kg ; 53,57mg/kg ; 12,92mg/kg et 12,7mg/kg en saison sèche et respectivement de 0,013mg/kg ; 2,2mg/kg ; 11,37mg/kg ; 0,8mg/kg ; 32,85mg/kg ; 8,56mg/kg et 7,81mg/kg en saison pluvieuse. La figure 39 montre les localisations des sites d'échantillonnage de sédiments réalisés par les auteurs.

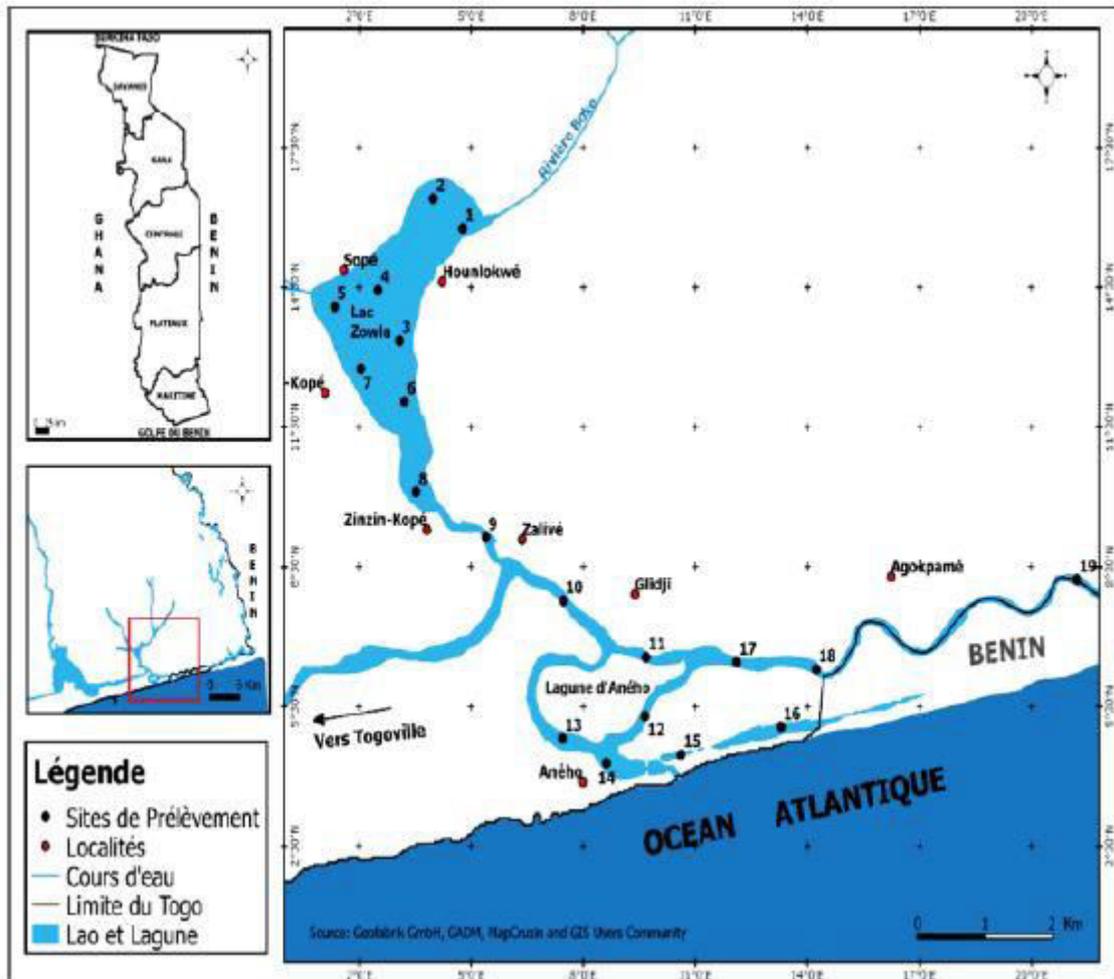


Figure 39 : Carte montrant les sites d'échantillonnage de sédiments (Hodabalo et al., 2018)