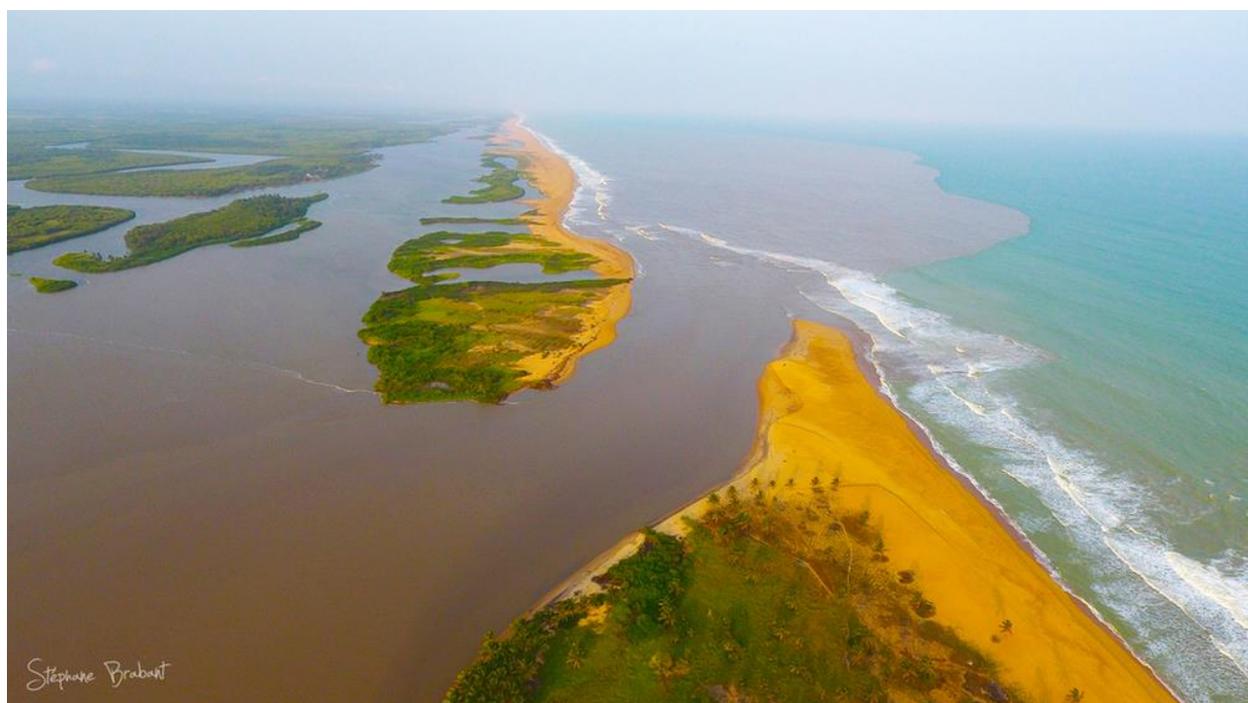

Rapport de mission
Grand Popo Bénin
10-15 avril 2022

Pour la mise en œuvre du projet « Suivi des risques côtiers et solutions douces à l'AMP de la Bouche du Roy au Bénin »

Mai 2022



Crédit photo : Stéphane Brabant [afrikafun], 2018.

SOMMAIRE

I. PREAMBULE	3
II. CONTEXTE : Composante III du programme WACA FFEM - Echange d'expériences, et actions pilotes pour l'adaptation et la réduction aux risques côtiers	4
III. SITUATION GENERALE DU SITE	5
1. Climat	6
2. Conditions marines.....	7
3. Evolution morphodynamique de la côte entre Agoué et Djondi	8
4. Evolution de l'embouchure de la Bouche du Roy	10
5. Projets de gestion des risques côtiers référencés dans la zone d'intervention :.....	14
IV. SOLUTIONS DOUCES ENVISAGEES POUR LA PROTECTION DES COTES.....	17
1/ Définition de la zone d'intervention :	17
2/ Définition de la technique à mettre en place	24
V. PROPOSITIONS D' ACTIONS SaVE	32
VI. ANNEXE : Conditions climatiques et marines de la zone	35
1. Climat	35
2. Conditions marines.....	38

I. PREAMBULE

L'érosion côtière, la mobilité du trait de côte et plus largement l'évolution naturelle des littoraux, ont des conséquences sociales et économiques importantes, qui sont observées en Afrique de l'Ouest depuis plusieurs décennies.

Ces impacts, accélérés par le changement climatique, ont été déjà relevés lors de plusieurs conférences ministérielles panafricaines. Ils sont aujourd'hui croissants, et d'autant plus marqués que la concentration des populations et des infrastructures dans la frange côtière s'accroît rapidement. La Conférence des Ministres de l'environnement de l'Union Economique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA) relevait déjà cette question en 1997 et lançait en 2007 le Programme Régional de Lutte contre l'Erosion Côtière en Afrique de l'Ouest (PRLEC). En 2009, l'UEMOA, à la demande des Etats partenaires, confiait à l'[Union Internationale pour la Conservation de la Nature \(UICN\)](#), la réalisation d'un **Plan de Prévention des risques côtiers et d'un Schéma Directeur d'Aménagement du Littoral Ouest Africain (SDLAO)**.

En 2012, l'UEMOA adoptait la décision d'appuyer la création de la **Mission d'Observation du Littoral Ouest Africain (MOLOA)**, qui fonctionne en partenariat avec les différentes institutions dans la région et au niveau international. La coordination régionale de la MOLOA est assurée par le Centre de Suivi Ecologique de Dakar (CSE) à travers la cellule régionale de coordination à laquelle l'UICN apporte un appui technique.

En 2015, afin de répondre aux demandes des pays de la région et consciente des besoins en investissements multisectoriels pour faire face aux risques côtiers, la Banque mondiale a engagé le programme régional WACA (*West Africa Coastal Areas*) d'assistance technique au développement durable du littoral d'Afrique de l'Ouest, ciblant la lutte contre l'érosion et les inondations côtières.

Une implication et des contributions d'autres partenaires techniques et financiers ont été sollicitées. C'est notamment le cas de la France qui, suite à la 21^{ème} COP de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), s'est engagée, auprès de la Banque mondiale, à travers un arrangement administratif signé le 21 avril 2016, à contribuer aux efforts dans le secteur. Suite à quoi, le Ministère de la Transition Ecologique (MTE) a signé une convention avec quatre établissements publics français (SHOM, IGN, BRGM, CEREMA) pour une contribution aux initiatives du programme WACA, et mettra à disposition un assistant technique auprès de la Banque mondiale en appui au programme.

La contribution du Fond français pour l'environnement mondial (FFEM) s'inscrit dans ce cadre, avec un projet qui s'intègre au programme WACA de la Banque mondiale, qui est en complémentarité avec ces autres types d'implication française et qui a été construit en continuité des initiatives mises en œuvre dans la région depuis 2007 pour faire face aux risques côtiers.

II. CONTEXTE : Composante III du programme WACA FFEM - Echange d'expériences, et actions pilotes pour l'adaptation et la réduction aux risques côtiers

Le projet « *Solutions douces et suivi des risques côtiers au Bénin, Sénégal et Togo* » comprend essentiellement dans sa composante 3 des activités démonstratives de terrains concernant la gestion des risques littoraux au Bénin au Sénégal et au Togo, à travers la mise en place de solutions douces, sur des sites pilotes.

Le projet a pour ambition de démontrer, notamment avec l'appui de l'expertise française dans le domaine, que des solutions douces sont pertinentes pour lutter contre et s'adapter aux risques côtiers.

Dans le cas du Bénin, plus précisément dans la commune de Grand-Popo, l'érosion côtière représente la menace la plus importante pour le développement à court et long terme de cette commune. Si l'on note une relative stabilité, et même un engraissement, du littoral de la vieille ville ; vers l'Est et à proximité de la Bouche du Roy, en revanche, l'érosion est intense et a entraîné la disparition de nombreuses habitations et d'un village côtier (disparition du village d'Agbéchiko, situé entre Gbèkon et Gbeffa). Le territoire communal de Grand-Popo est un milieu riche et fragile soumis à de nombreux risques littoraux. Les populations des petits villages situés à l'embouchure du fleuve sont particulièrement vulnérables vis à vis de ces risques littoraux. Par ailleurs, les inondations constituent également une contrainte principale au développement de Grand-Popo. Le diagnostic territorial montre que, d'après les travaux de CENATEL (1992) repris par IGN et Géo Image en 2015, la commune de Grand-Popo avec une superficie de 289 km², est inondable à 81 %. Sa position géographique est à l'encablure de deux fleuves (le Mono et le Couffo), du lac Ahémé et de la lagune de Grand-Popo. Cette situation fait de la commune un réceptacle d'eau après les premières pluies en amont.

Les inondations, que les habitants du fleuve ont toujours connues, deviennent de plus en plus fréquentes et intenses au fur et à mesure du comblement du lit du fleuve et des chenaux, consécutifs à la réalisation du barrage de Nangbéto. Les habitants proches de l'embouchure connaissent ainsi, plusieurs fois par an, des épisodes durant lesquels les hauteurs d'eau dans les villages et habitations dépassent un mètre durant plusieurs jours. Les habitants doivent alors abandonner leurs maisons et leurs biens pour se retrouver dans le désarroi.

Face à ce constat, le projet prévoit sous l'égide de l'ONG Corde, quatre sous-composantes visant à augmenter la résilience des populations face à ces risques côtiers qui constituent un facteur d'appauvrissement et d'insécurité :

- Sensibilisation aux risques côtiers des populations de l'estuaire du Mono ;
- Actions de réduction de la vulnérabilité aux risques côtiers dans la Commune de Grand Popo ;
- Reboisement pour la restauration des berges de fleuve Mono ;
- Mise en place de solutions douces pertinentes pour la gestion des risques côtiers.

Appuis attendus du Conservatoire du littoral et de l'Association SaVE : Identification des solutions douces pertinentes à mettre en œuvre pour la gestion des risques côtiers

Ainsi, à l'image du site de l'AMP de Saint Louis au Sénégal, il apparaît important que le site de Grand Popo bénéficie d'une mission exploratoire visant à identifier les solutions pertinentes à mettre en œuvre. En fonction du contexte biophysique, du contexte social et des ressources disponibles, il conviendra d'orienter l'ONG Corde dans les choix de solutions les plus pertinentes à mettre en œuvre.

Afin de mieux appréhender la problématique et de définir au mieux les actions réalisables, une visite sur site a été organisée entre le 10 et 15 avril 2022.

L'association SaVE a été sollicitée par le Conservatoire du littoral en accompagnement technique sur le site afin de réaliser un 1^{er} diagnostic et aussi afin de rencontrer les acteurs locaux et en particulier l'ONG Corde, maître d'ouvrage pour les actions attendues.

Objectifs de la mission :

Cette première mission terrain a trois objectifs principaux :

- Aller à la rencontre des gestionnaires et acteurs de la gestion des risques côtiers sur la Commune de Grand Popo ;
- Déterminer le site adapté pour expérimenter des solutions douces ;
- Définir la solution douce à mettre en œuvre en adéquation avec les ressources disponibles localement.

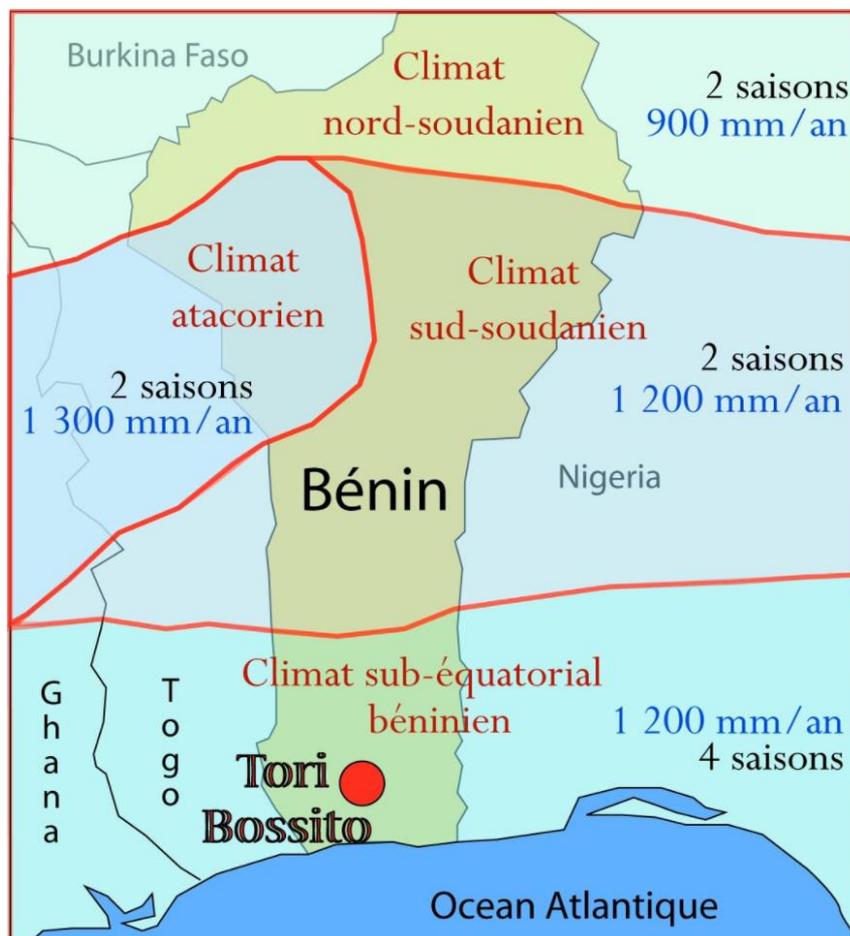
III. SITUATION GENERALE DU SITE

Situé sur le golfe de Guinée, bordé au nord par le Burkina Faso et le Niger, à l'est par le géant Nigérian et à l'ouest par le Togo, le Bénin couvre une superficie de 112 620 km². De relief peu accentué, le pays s'étend sur environ 670 km du nord au sud, du fleuve Niger à la côte atlantique de 121 km de longueur. Le Bénin est traversé par 3 fleuves : l'Ouémé, le Mono et le Couffo.

Le Bénin comptait 8,3 millions d'habitants en 2008 avec un taux de croissance annuel de 2,62 %, un âge moyen de 17,9 ans et une espérance de vie de 53,85 ans. La densité moyenne globale est de 73 habitants au km², mais elle est cependant trois fois supérieure au sud, où sont concentrés les trois quarts de la population. 46 % des habitants habitent les villes.

Dans le cadre du programme WACA ResIP de nombreuses études ont été menées pour évaluer les conditions environnementales pour la mise en place de solutions dures. De nombreux éléments sont repris en Annexe. Une synthèse est présentée dans cette partie et des données permettent de mieux appréhender les phénomènes climatiques et marins de la zone de l'AMP de la Bouche du Roy.

1. Climat



Carte climatique du Bénin (source : Adam, K. O. and Boko, M., 1983).

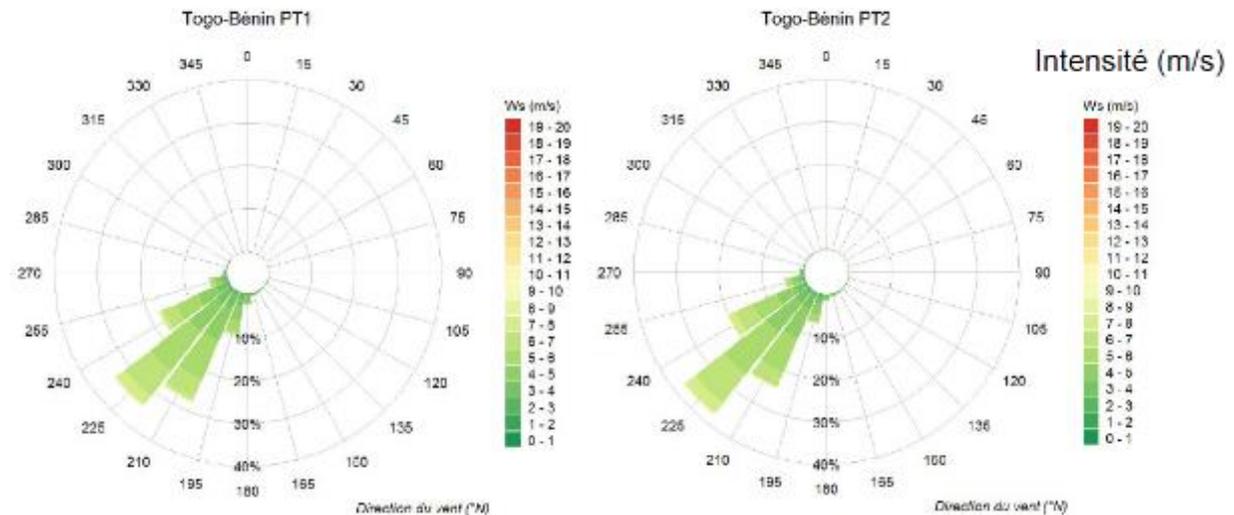
Le secteur qui nous intéresse est situé **en climat subéquatorial humide** sous l'influence de l'océan Atlantique.

Précipitations

Dans la région de Grand-Popo, il y a une alternance annuelle de quatre saisons distinctes et d'inégales durées :

- Une longue saison des pluies qui s'étend d'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, le vent est faible et l'humidité est relativement basse.

Les vents



Source : Artelia, 2020

Roses des vents obtenues sur la commune de Grand Popo à partir des données de vent de Globocéan sur la période du 1er janvier 1992 au 31 décembre 2019 (les points PT1 et PT2 sont identifiés sur la carte en Annexe)

Les vents qui soufflent sur la zone en toute saison sont de **secteur SW (98% de l'année) et d'intensité moyenne mensuelle de 4 à 6 m/s** (ACL Consultant 2017). Les vents proches du secteur 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).

2. Conditions marines

Marées :

Les marées sont de type semi-diurne régulier. Lors de notre mission, le marnage en avril était faible : environ 0.8 m. Les marées sont plus fortes aux équinoxes (BM 0,23 m ; PM 1,77 m soit 1,54 m de marnage pour le 21 mars 2022).

Courants :

L'analyse des courants mesurés indique une prédominance de la composante long-shore orientée vers l'Est sur la composante cross-shore orientée vers le large.

Granulométrie :

En haut de plage et milieu de plage, la granulométrie des sédiments est faible, environ 0,4 mm.
En bas de plage, la granulométrie est grossière ; le diamètre moyen est compris entre 0,7 mm et 1 mm.

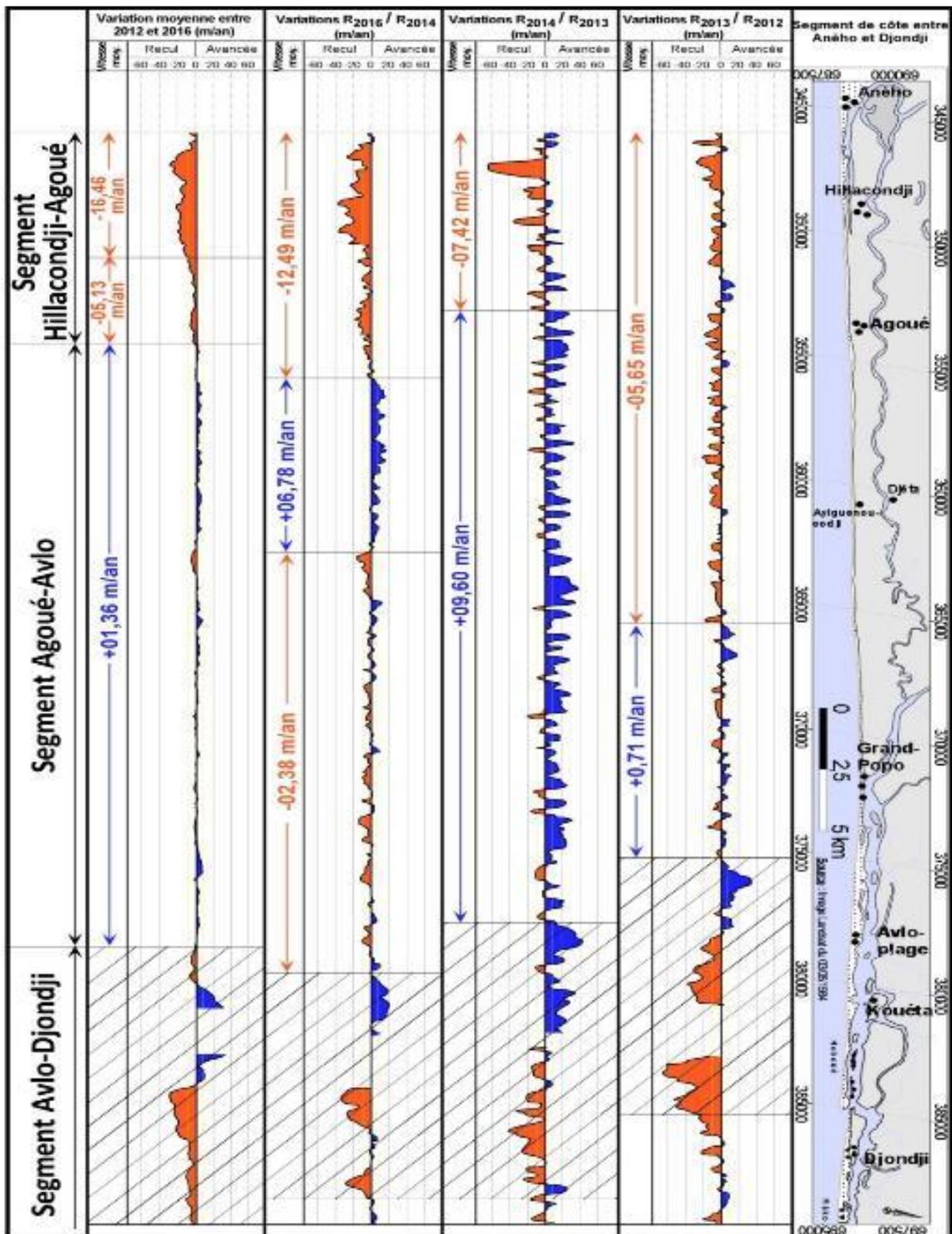
3. Evolution morphodynamique de la côte entre Agoué et Djondi

Dans le cadre de l'étude technique de WACA ResIP sur l'érosion côtière du segment Hillacondji- Grand-Popo, l'analyse par télédétection de la dynamique morpho-sédimentaire et la cinématique du trait de côte sur la période de 2012 à 2016 a distingué quatre segments aux évolutions morphodynamiques différentes (DG-Eau, 2015) : Hillacondji-Agoué; Agoué-Ayiguénou, Ayiguénou-Avlo et Avlo-Djondji. Le périmètre d'étude est entre Grand Popo et Djondi, nous allons donc reprendre ces éléments pour mieux appréhender la dynamique et l'érosion de la zone.

▪ La côte entre Agoué et Avl

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. Dans le détail, ce segment de côte a connu une forte érosion entre 2012 et 2013, sans doute suite à la perturbation introduite dans le système par la réhabilitation des épis d'Anèho. De 2013 à 2016, la côte passe par des phases d'engraissement puis d'érosion qui traduit l'équilibre dynamique du rivage.

Par ailleurs, dans ce secteur, le cas de la côte en face de la ville de Grand-Popo apparaît comme un point sensible avec des fluctuations périodiques et l'identification réelle des causes reste à faire. En effet, depuis les grands bouleversements évoqués par Hubert Henri (1908) et les épisodes successifs (1900 à 1905 ; 1922 et 1944) qui ont entraîné les premières destructions de la ville de Grand-Popo, la mer a avancé continuellement jusqu'en 1982. Mais depuis 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.

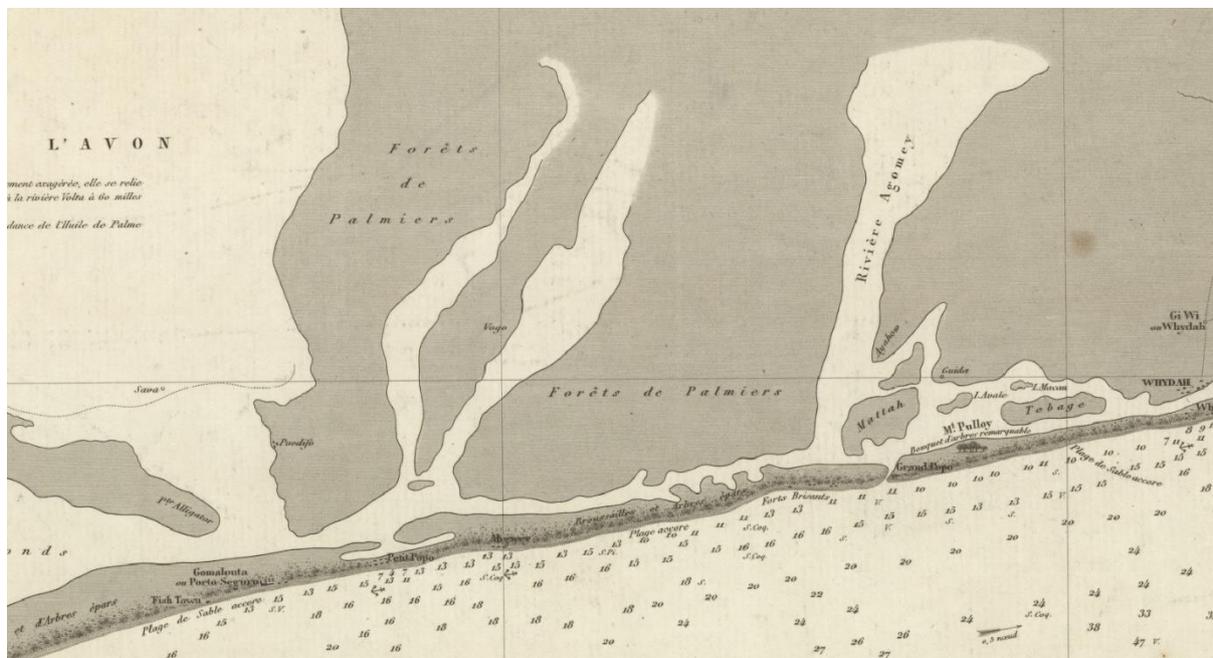


Source : Norda Stelo-BCI, 2016

Cinématique du trait de côte et morphodynamique des plages de la commune de Grand-Popo entre 2012 et 2016.

4. Evolution de l'embouchure de la Bouche du Roy

La Bouche du Roy constitue un site à valeur spirituelle et écologique importante, en plus d'abriter quelques villages de Grand-Popo. Elle a été déstabilisée lors de la construction du barrage de Nangbéto et sa mobilité dynamique s'est accélérée. De plus, la zone est sensible aux inondations causées par les crues du Mono (naturelles ou dues aux lâchées du barrage).



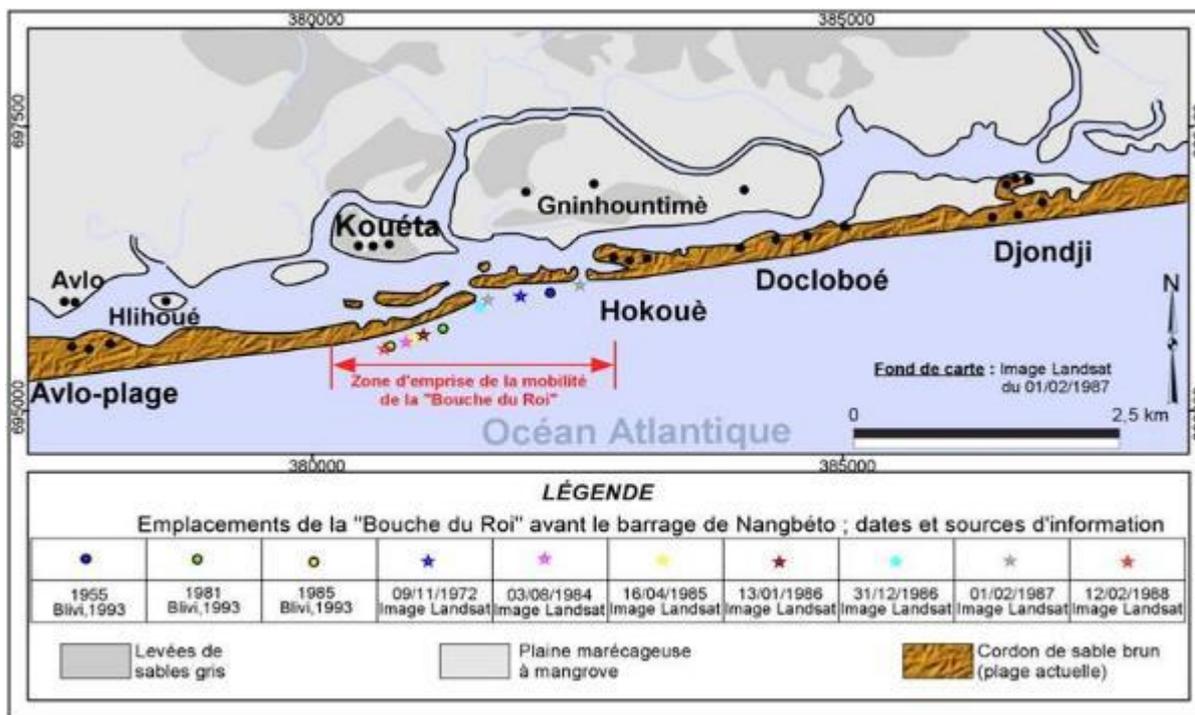
Extrait d'une carte marine de 1846.

▪ La côte entre Avlo et Djondi

C'est le secteur de côte par lequel se jette le fleuve Mono en mer, via l'embouchure connue sous le nom de la Bouche du Roy. Ce segment de côte évolue de nos jours, dans un contexte d'érosion et d'accumulation, du fait de l'instabilité de la Bouche du Roy depuis la mise en service du barrage de Nangbéto sur le fleuve Mono.

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 fermeture de la Bouche du Roy se traduisaient par d'intenses phénomènes de remaniement de plages limités toutefois en face de l'île de Kouéta. On parle d'une relative stabilité de position (Balouin, 2001).

Après la mise en service du barrage en 1987, la Bouche du Roy est devenue une embouchure ouverte de façon permanente qui effectue une migration sans cesse dans le sens de la dérive littorale, à une vitesse pouvant atteindre 700 m/an (Laïbi, 2011). Cette mobilité de l'embouchure s'accompagne de violents phénomènes d'érosion qui détruisent littéralement les plages, les villages entiers ainsi que les infrastructures (routes, écoles, cimetières, etc.) réalisées le long de la côte.



Source : Laïbi, 2011

Zone d'emprise de la mobilité de la Bouche du Roy avant 1987

Les travaux de Laïbi (2011) ont montré que la modification du régime hydrologique du fleuve Mono par le barrage de Nangbèto constitue la principale cause du nouveau fonctionnement de la Bouche du Roy depuis 1987. En effet, avant la mise en service du barrage, le fleuve Mono connaissait une crue unique pendant les mois de septembre-octobre avec des débits pouvant atteindre 680 à 700 m³/s, puis un étiage qui dure près de six mois durant lesquels les débits d'écoulement sont quasiment nuls. Ce rythme hydrologique naturel du fleuve Mono ne permettait pas une ouverture permanente de la Bouche du Roy. La mobilité de l'embouchure était donc limitée dans l'espace et dans le temps.

Evolution du grau de la Bouche du Roy, Bénin Fond de carte : février 2020



Sources : Google Earth Pro, QGIS ; Réalisation : Association SaVE, 2022.

Carte montrant la mobilité de la Bouche du Roy et ses conséquences sur l'état de la plage, après la mise en service du barrage de Nangbéto en 1987

Dans la situation actuelle, les débits du fleuve Mono sont contrôlés par le barrage de Nangbéto. Un nouveau barrage, le barrage d'Adjarala est également prévu en aval. Avec la construction et l'exploitation du barrage en 1987, le régime hydrologique du Mono a été modifié : les études de Rossi (1996) rapportent une réduction des crues quinquennales, mais une augmentation du faible débit, de l'érosion et du creusement du lit.

Description des interventions de la bouche du Roy en 2021 :

La bouche du Roy a été artificiellement réouverte au point  en juin 2021, la bouche s'est ensuite déplacée vers l'Est d'environ 1 km depuis cette date.

Un dragage de la bouche du Roy a été effectué en septembre 2021 pour éviter les crues. Le sable a été déposé sur la plage, à l'Ouest de la bouche permettant d'augmenter la profondeur du lit du fleuve en la faisant passer de 4m à 8m.



Vue Ouest Point 🌀

Sable de draguage



Vue Mono - Point 🌀



Vue Est Point 🌀

5. Projets de gestion des risques côtiers référencés dans la zone d'intervention :

Lors de notre mission exploratoire, de nombreux projets ont été identifiés dans la commune de Grand Popo et en particulier pour traiter les risques côtiers et fluviaux. Ils sont menés par de nombreux acteurs : la DEPC, la commune de Grand Popo, l'Unité Intégrée de gestion des projets WACA ResIP, l'ONG Corde, l'association Doukpo et l'association Eco Bénin.

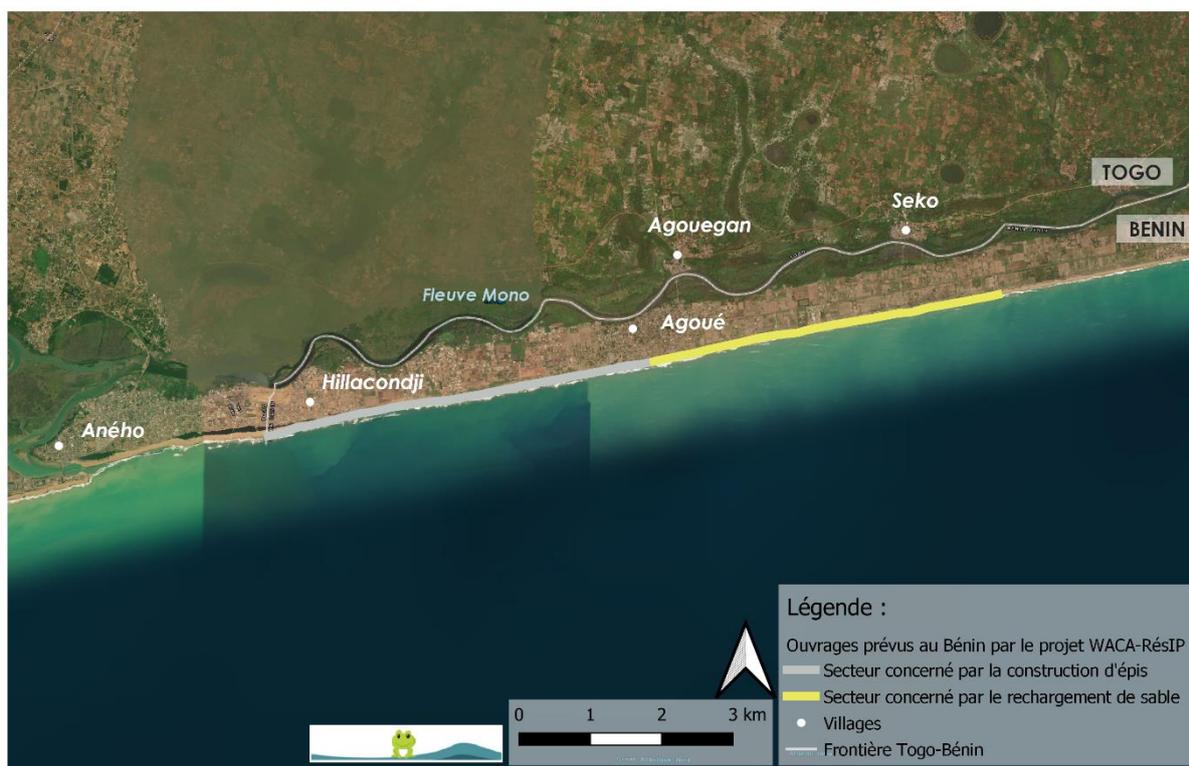
L'identification des projets est reprise sur cette carte :

1/ Projet WACA RESIP :

Acteurs : Commune de Grand Popo et Unité Intégrée de gestion des projets WACA ResIP.

Travaux de protection côtière transfrontalière du Togo-Bénin, sur la zone d'étude couvrant 25 km au Togo à l'ouest de la frontière (de Gbodjomé à Hillacondji) et 18 km au Bénin jusqu'à Agoué à l'est de la frontière : 14 épis dont 8 aux Bénin avec rechargement de sable entre les épis et moteur de sable (=rechargement massif du type programme « sand motor or sand engine » aux Pays-Bas) sur 4km en aval à Agoué.

Calendrier des travaux prévisionnel : octobre 2022- octobre 2023



Sources : Programme WACA-RésIP, Unité Intégrée de Gestion des Projets, Ministère du Cadre de Vie et du Développement Durable de la République du Bénin ; Réalisé par l'association SaVE : Sable, Vague, Environnement.

2/ Projet national avec des fonds internationaux :

Acteurs : Commune de Grand Popo et Unité Intégrée de gestion des projets WACA ResIP.

Travaux dans le lit du fleuve Mono après le village de pêcheur de Gbèkon(coude du Mono) avec mise en place d'une digue et d'un rechargement de sable pour élargir le cordon.

Calendrier des travaux prévisionnel : non défini à ce jour – 2023.

En septembre 2021, les travaux d'urgence de protection du Mono à Gbèkon ont consisté à ouvrir une brèche pour limiter les inondations du village de pêcheur, de draguer du sable du lit principal du fleuve pour combler la zone en érosion au sud du fleuve et élargir ainsi le cordon de 80m à 200m de large.



Sources : Programme WACA-RésIP, Unité Intégrée de Gestion des Projets, Ministère du Cadre de Vie et du Développement Durable de la République du Bénin ; Réalisé par l'association SaVE : Sable, Vague, Environnement.

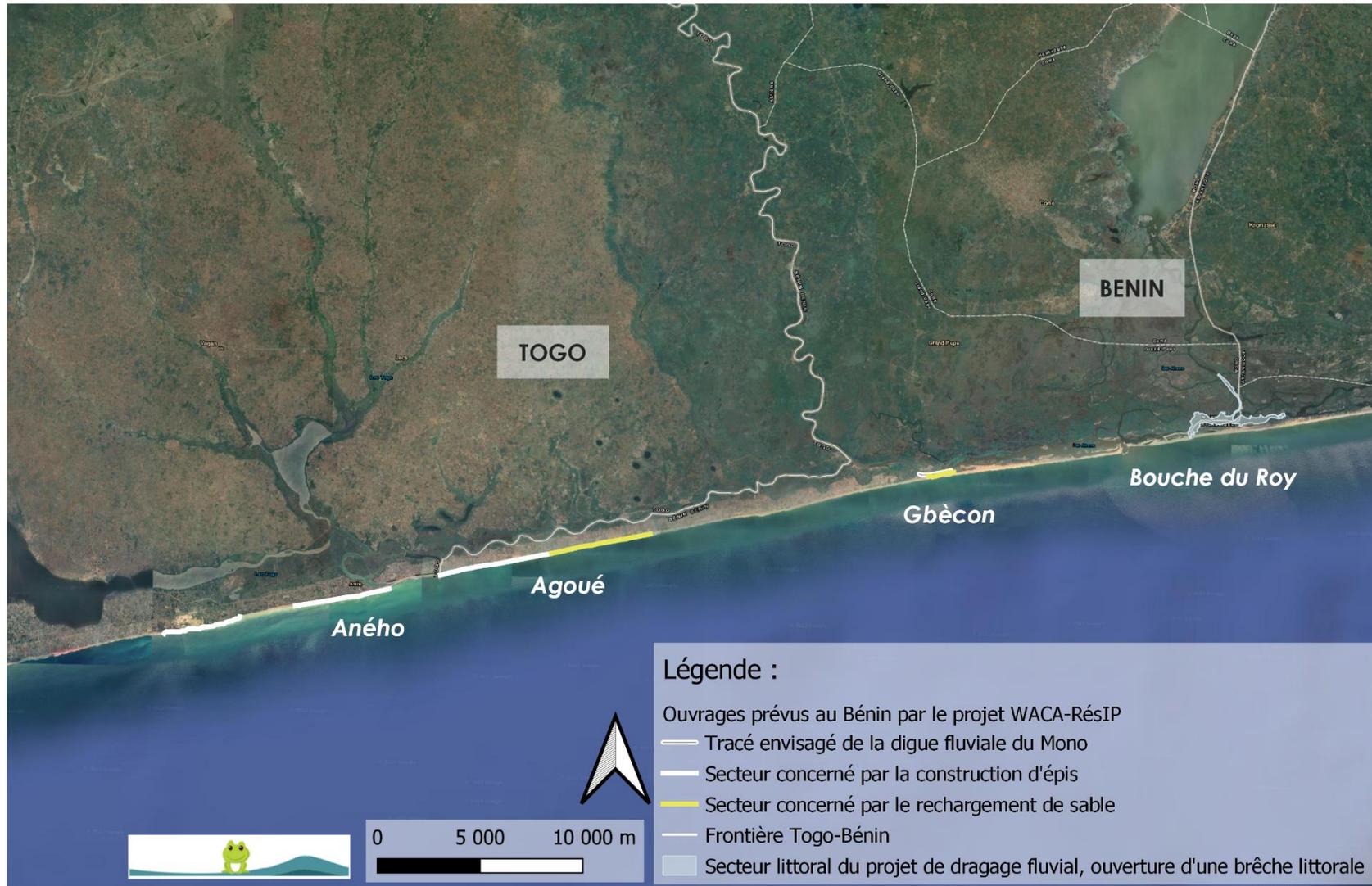
3/ Projet national :

Des travaux de draguage au niveau de Hakoé étaient en cours lors de notre mission.

De nombreuses interrogations persistent sur cette opération : calendrier, brèches, zone d'intervention, zone de dépôt des sédiments.

L'ONG Corde et l'Unité Intégrée de gestion des projets WACA ResIP doivent se renseigner sur cette opération.

Programme WACA-RésIP



Sources : Programme WACA-RésIP, Unité Intégrée de Gestion des Projets, Ministère du Cadre de Vie et du Développement Durable de la République du Bénin ; Réalisé par l'association SaVE : Sable, Vague, Environnement.

IV. SOLUTIONS DOUCES ENVISAGEES POUR LA PROTECTION DES COTES

Dans le cadre de cette mission exploratoire, l'association SaVE a parcouru l'AMP de la Bouche du Roy pour mieux appréhender la dynamique littorale dans l'objectif de déterminer un site d'intervention pour l'expérimentation de solutions douces contre les risques côtiers.

Les méthodes d'ingénierie dites « douces », parfois dites techniques souples, sont conçues pour travailler avec la nature, elles sont fondées sur des concepts d'accompagnement des dynamiques naturelles du littoral et du trait de côte (pièges à sable, aide à la re-végétalisation, etc.). Par leurs principes d'actions, elles intègrent la dynamique naturelle du littoral et la mobilité du trait de côte. Au contraire des méthodes dites « dures », elles sont réversibles avec une durée de vie limitée et, en conséquence, elles demeurent une solution moins coûteuse à l'installation. L'efficacité et le choix de ces méthodes dépendra des diagnostics préalables sur les processus environnementaux en fonction de l'intensité des dynamiques côtières (houle, courants éoliens et marins, zones de submersion, etc.), mais aussi du substrat sableux tant au niveau de sa granulométrie que de son humidité (un sable trop humide n'est pas facilement transporté par le vent).

Avantages des solutions douces

- ✓ Approche environnementale
- ✓ Réversibilité des actions
- ✓ Bonne intégration esthétique et paysagère
- ✓ Impact sur le moyen terme
- ✓ Installation globalement moins coûteuse

Limites des solutions douces

- ✓ Durée de vie limitée
- ✓ Nécessite un entretien régulier
- ✓ Nécessite une bonne connaissance des dynamiques littorales du site
- ✓ Peu résistante en cas de submersion marine avec déferlement

1/ Définition de la zone d'intervention :

Au vu du nombre d'interventions lourdes en termes de génie civil côtier qui sont en cours sur la zone, il est difficile de déterminer une zone d'intervention pour des solutions douces, qui soient pérennes et utiles.

Trois sites ont été identifiés lors de la mission exploratoire pour la mise en place de solutions douces pour la gestion des risques côtiers.

Le tableau page 23 présente les différents sites avec leurs intérêts, leurs atouts et leurs faiblesses.

Localisations envisagées comme zone d'intervention



Sources : Programme WACA-RésIP, Unité Intégrée de Gestion des Projets, Ministère du Cadre de Vie et du Développement Durable de la République du Bénin ;
Réalisé par l'association SaVE : Sable, Vague, Environnement.

Zone 1A



Zone 1B :



Vue Ouest – Plage nettoyée

Granulométrie moyenne à élevée



Erosion forte

Zone 2 : Kueta Plage



Submersion marine visible grâce aux amas de bois flottés

Granulométrie moyenne à fine



Profil de plage moins érodé

Bourrelet de sable visible



Zone 3 : Hakoé plage



Bras d'embouchure fermé naturellement

Berne de haut de plage et végétalisation de la dune naissante



Dune de sable suite au passage de la dragueuse dans le fleuve

Village de Hakoé plage détruit par submersion marine



Site	Position	Atouts	Faiblesses	Intérêts
Site 1 A – Chantier école	Entrée de l'AMP	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Visibilité 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Site en équilibre sédimentaire ✓ Sable à granulométrie moyenne et humide : peu d'envol de sable : stockage du sable lent 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pas d'enjeu réel
Site 1 B – Chantier école	Site de reboisement	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Complémentarité des actions : solutions dures/ reboisement/ mangroves 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Site en équilibre sédimentaire ✓ Sable à granulométrie moyenne et humide : peu d'envol de sable : stockage du sable lent 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Protection d'un commerce touristique contre les submersions marines à priori présentes mais rares
Site 2	Kueta plage	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Implication du village de Kueta ✓ Envol de sable observé = compatibilité granulométrique pour un ouvrage doux 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Site de la base naval ✓ Embouchure historique de la bouche du Roy – site proche de l'embouchure : risque de retrait suite à la dérive littorale ✓ Cordon dunaire étroit 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Protection du village de Kueta face au submersion marine
Site 3	Hakoe plage	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Implication du village ✓ Envol de sable observé ✓ Cordon dunaire plus large qui se reconstitue au vue de la végétation ✓ Houle dissipée par les fonds et donc moins puissante à ce jour 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Interrogation sur les travaux de dragage (projet 3) : calendrier, zone d'intervention, brèche... : en attente de retour d'informations des acteurs locaux ✓ Dune de sable lors de la réalisation d'une brèche pour le passage de la dragueuse 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Protection du village de Hakoe face au submersion marine

L'objectif d'un chantier école est de faire adhérer tous les acteurs locaux, de les former à la dynamique du littoral ainsi qu'à la mise en œuvre de solutions douces afin de les reproduire si nécessaire à d'autres zones.

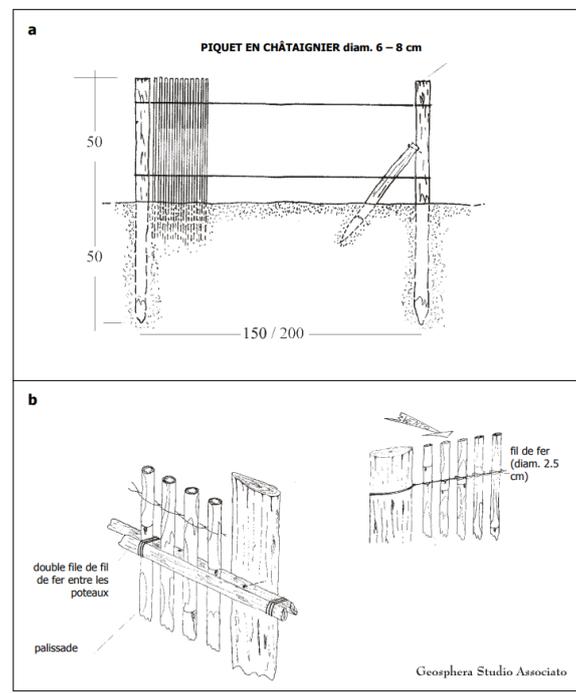
Les chantiers écoles ne sont pas situés dans des zones à forts enjeux, zone littorale à l'équilibre sédimentaire.

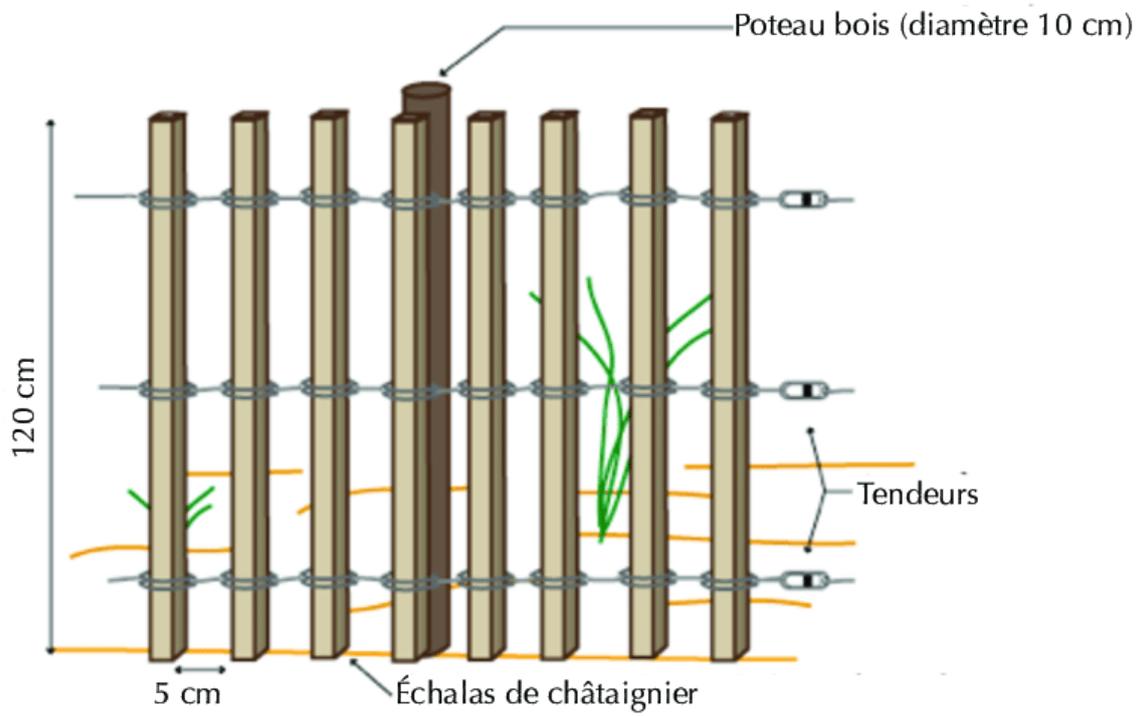
Les trois sites avec leurs atouts et faiblesses ont été présentés à l'ONG Corde, à la mairie de Grand Popo et à l'association Doukpo.

Ces résultats seront présentés en Assemblée générale de l'association Doukpo par l'ONG Corde afin de définir un site pour l'expérimentation. Il peut être envisagé de réaliser **un chantier école et un chantier d'expérimentation**.

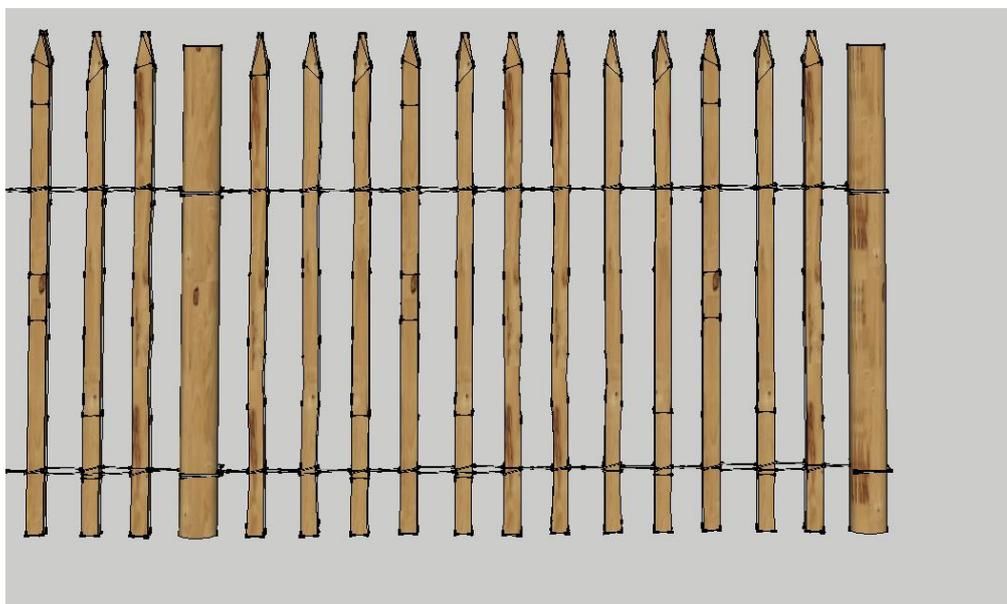
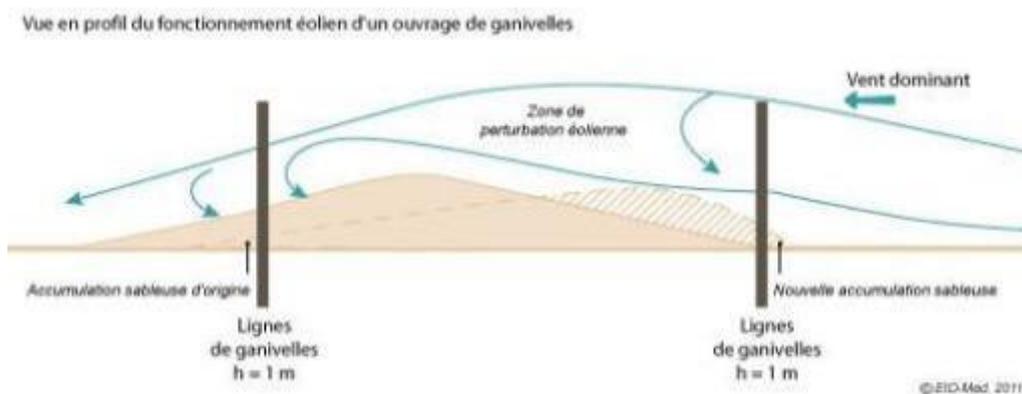
2/ Définition de la technique à mettre en place

Les solutions douces envisagées pourraient être la mise en place de palissades en maillage : palissades de 1,2m avec enfouissement de 10 cm avec poteaux de 1,8 m tous les 1 ou 2 mètres en fonction des matériaux utilisés.





Exemple d'un maillage de palissades sur le littoral méditerranéen



Vue de face du maillage de ganivelles

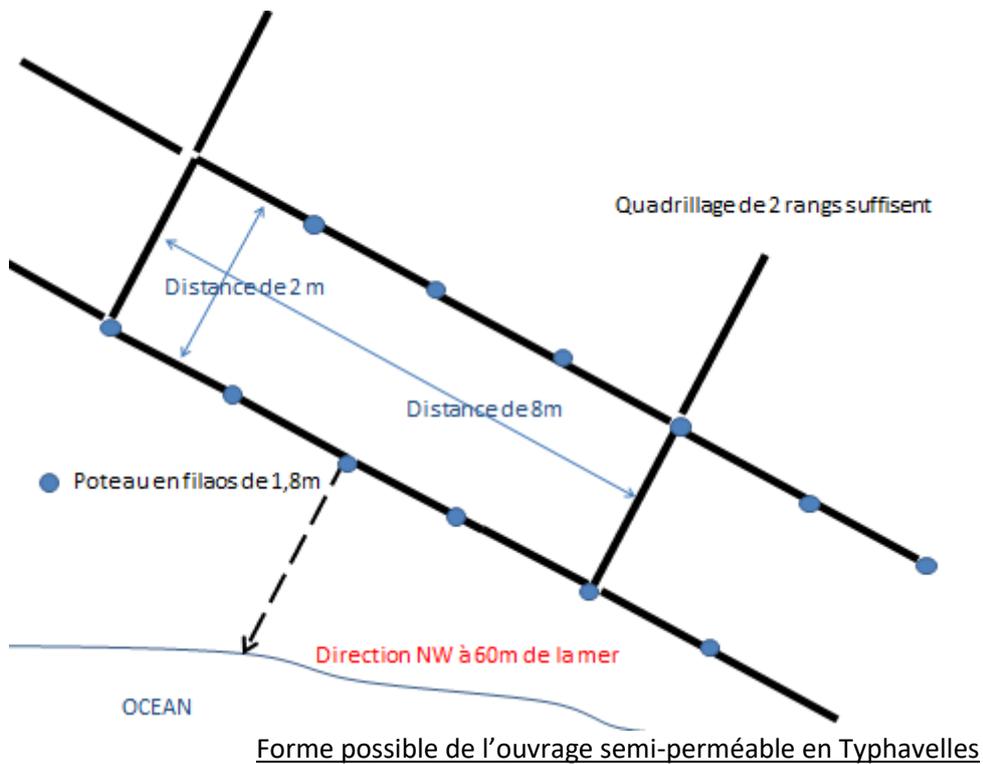
Dimensionnement possible de l'ouvrage en palissades

La logique d'orientation des dispositifs de piégeage du sable transporté par le vent est de s'implanter perpendiculairement aux vents dominants : c'est-à-dire le vent de SW dans le cas de l'AMP de la Bouche du Roy.

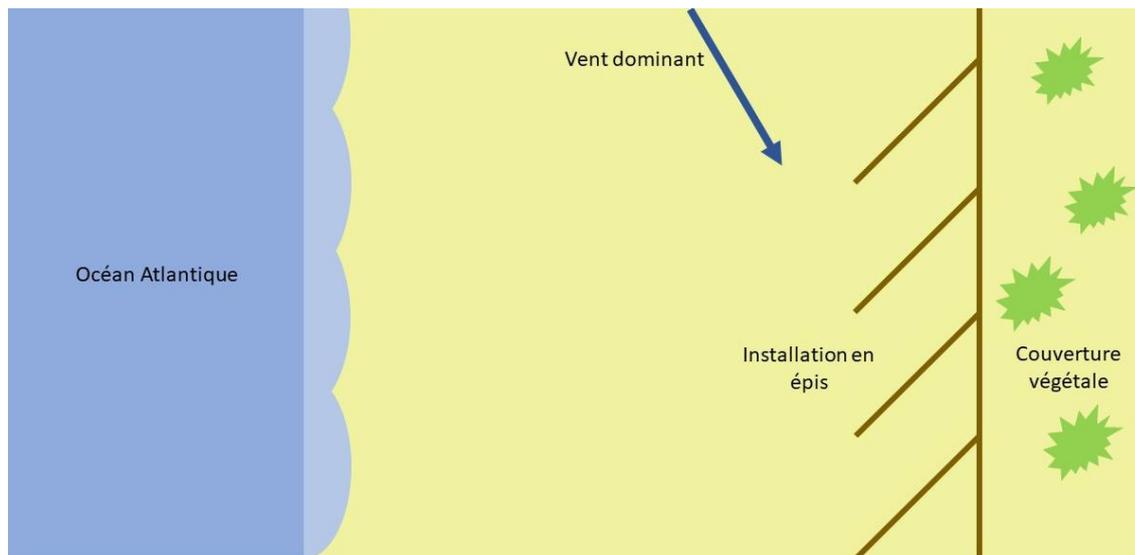
Les palissades à installer pourront être selon 2 configurations différentes en fonction du site sélectionné et de ses caractéristiques : en casier ou en épi.

Installation type en casier :

Le plan simplifié ci-dessous propose un ouvrage en casiers simple avec 2 lignes de palissades, il est possible d'adapter l'ouvrage avec une ou deux lignes supplémentaires, mais pas plus, compte tenue de la dynamique éolienne locale et du caractère moyennement fin du sable local (surtout à cause de son aspect coquillier).



Installation type en épis :



Le positionnement du futur ouvrage semi-perméable en palissade est crucial, il doit à minima être à 60 m du trait de côte à marée haute. Cela permettra aux houles dominantes de ne toucher qu'exceptionnellement l'ouvrage et cela offrira un fetch (piste d'envol) plus important pour que le sable vienne s'accumuler.

De plus une longueur d'ouvrage d'environ 100 ou 200 m peut être testée dans un 1^{er} temps.

Conception des palissades

Nous avons noté plusieurs informations techniques qui seront confirmés par les acteurs locaux. L'objectif est de réaliser ces palissades avec des produits locaux qui ne sont toutefois pas à haute valeur ajoutée. Les produits locaux déjà utilisés et valorisés à la vente ne doivent pas servir à la fabrication de ces palissades.

Par exemple, le tissage de jonc est déjà réalisé pour la fabrication de produits plus nobles. L'utilisation du jonc sera donc évitée dans ces palissades.

Par ailleurs, Il pourra être envisagé dans un second temps :

- De pailler les dunes embryonnaires avec des feuilles, fibres de cocotier ou palmier non utilisées



- De pailler avec la laisse de mer (en effet les nombreuses algues constituant aujourd’hui la laisse de mer sont ramassées le long des plages et brûlées).



- De végétaliser la dune embryonnaire pour la fixer : on a pu noter de nombreuses espèces locales existantes en milieu salin Cette végétation halophile se forme naturellement sur le littoral– ex : zone du village d’Avhlo-plage, sous la plantation de cocotiers



Essences de végétation locale le long du littoral.

Problématique : Essence à définir pour les poteaux et les ganivelles.

- Ganivelles en typhas : tissage avec une perméabilité de 60 - tressage artisanal/ interrogation sur la présence de ce matériau
- Ganivelles en tiges de feuilles de palmier ou cocotier : espèce endémique. Les tiges sont utilisées pour réaliser des palissades étanches. Tiges robustes pour réaliser des ganivelles-

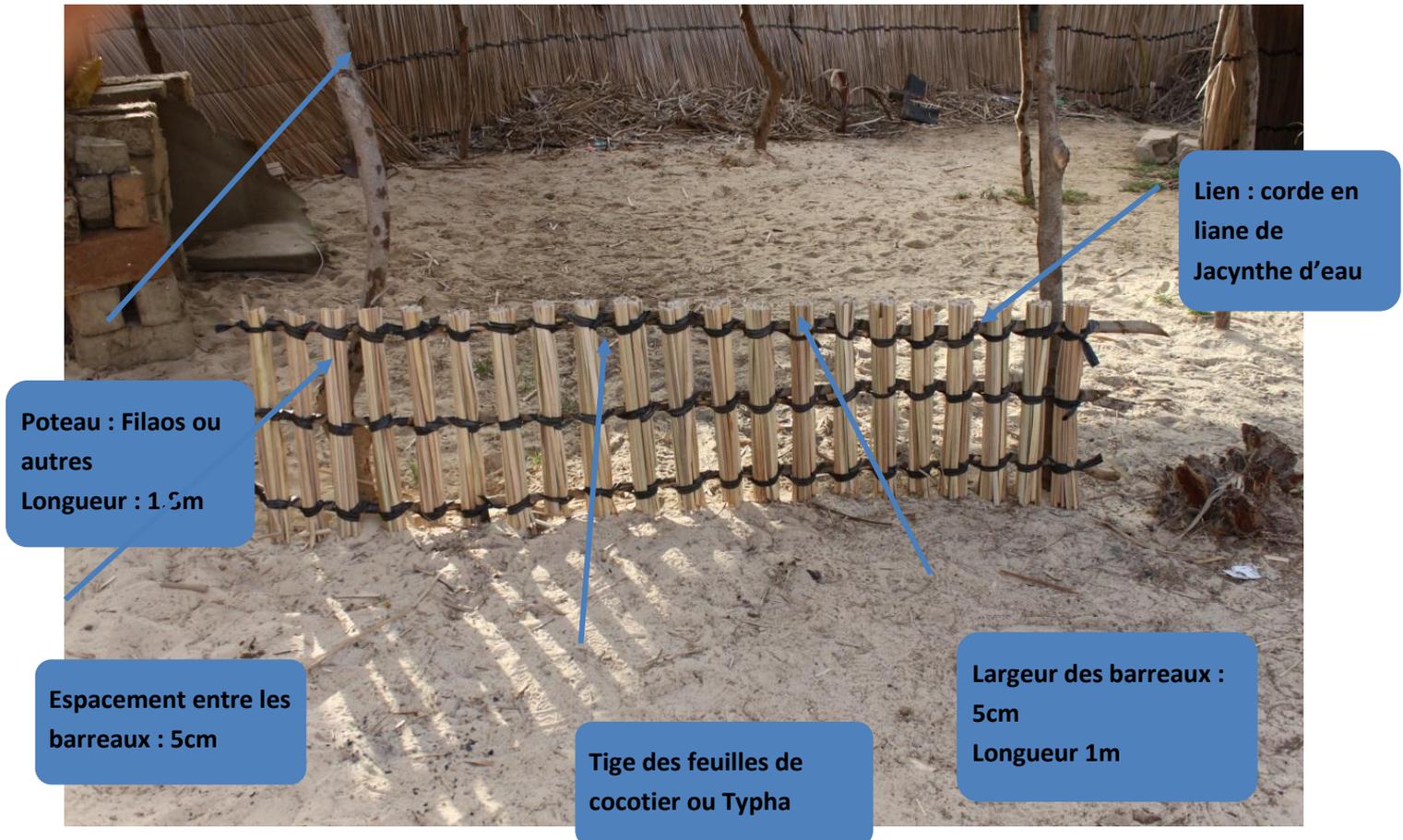


Poteaux en Filaos ou autres : Bois robuste ; espèces à déterminer par les acteurs locaux.



Il pourra être envisagé de réaliser différents types de palissade pour étudier leur résistance et leur efficacité.

Prototype de Palissade



V. PROPOSITIONS D'ACTION SaVE

Suite à la visite exploratoire de la zone de l'AMP de la Bouche du Roy, il a été complexe de déterminer des sites d'intervention au vu des nombreuses solutions dures côtières mises en place en amont de la dérive du littoral. Ces ouvrages durs auront des impacts sur la dynamique littorale de l'AMP de la Bouche du Roy.

De plus les conditions hydrologiques ont une dynamique forte qui peut engendrer des modifications brutales : submersion marine, érosion côtière, crue, dynamique de l'embouchure....

Les trois sites identifiés avec leurs atouts et faiblesses ont été présentés à l'ONG Corde, à la mairie de Grand Popo et à l'association Doukpo. Ces résultats seront présentés en Assemblée générale de l'association Doukpo par l'ONG Corde afin de définir un site pour l'expérimentation. Il peut être envisagé de réaliser **un chantier école et un chantier d'expérimentation**.

L'association SaVE a également présenté le principe de conception des palissades afin que les acteurs locaux identifient les matériaux les plus adaptés pour la construction de ces ouvrages.

Lorsque ces éléments seront définis par les acteurs locaux, l'association SaVE se propose d'accompagner l'ONG Corde :

- Sur la formation à la compréhension et au mécanisme de fonctionnement des risques de submersion / érosion + gestion douce des écosystèmes dunaires pour les acteurs
- Sur la mise en œuvre de ces palissades sur le site choisi : chantier école et/ou chantier d'expérimentation.
- Sur la réalisation d'un suivi simplifié basé sur des profils de plage au niveau des ouvrages de solutions douces pour en évaluer l'efficacité.

La période des pluies est d'avril à juillet mais la période des fortes houles est de septembre à novembre. Les travaux pour la mise en œuvre de solutions douces pourraient être planifiés entre décembre et mars.

Bibliographie :

Allé, U. C. Y., Vissoh, P. V., Guibert, H., K. Agbossou, E., Afouda, A. A. (2013). Relation entre perceptions paysannes de la variabilité climatique et observations climatiques au Sud-Bénin. *VertigO*, 13(3).

ANTEA Belgium nv, La Banque Mondiale. (2017). *Plan d'investissement multisectoriel pour l'adaptation aux risques côtiers face aux changements climatiques au Bénin. Rapport final.* (N° 4).

ARTELIA & WACA RESIP - BENIN. (2020). *Etudes conjointes de faisabilité technique de la protection côtière du segment frontalier Togo-Bénin. Projet d'investissement, de résilience des zones côtières en Afrique de l'Ouest.* (IDAn°6214-BE, DP n°106).

BRGM, Garcin, M., Desmazes, F., Billy, J., Maspataud, A., Gicquel, C. (2020, juin). *Valorisation des données historiques du littoral du Sénégal, du Togo et du Bénin. Rapport final.*

Dakpo, P. C., Ahonnon, A., Aballot, E. J., Boko, C. G., Houngan, C., & Okou, C. (2015). Impact socio-environnemental de l'exploitation du sable marin sur le développement humain durable dans la commune de Grand-Popo au Bénin. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé*, 15(2).

Dansou, C. S. (2019). *Structuration et dynamique spatiales des villes de Ouidah et de Grand-Popo sur le littoral Béninois : enjeux environnementaux et perspectives.* (Thèse de doctorat). Université d'Abomey-Calavi (Bénin).

Laïbi, R., Anthony, E. J., Diaw, A. T., Oyédé, L. M. (2018). Dynamique morpho sédimentaire de la Bouche du Roi (Bénin) : analyse des données spatiales et de terrain. *Photo Interprétation. European Journal of Applied Remote Sensing.*, 54(1), 38-47.

MEPN, Fiogbe, E., Dossou-Yovo, A., & OGOUWALE, E. (2007, février). *Rapport National sur l'Environnement Marin et Côtier du Bénin.* CEDA.

Ozer, P., Hountondji, Y. C., & De Longueville, F. (2017). Evolution récente du trait de côte dans le golfe du Bénin. Exemples du Togo et du Bénin. *Géo-Eco-Trop.*, 41(3), 529-541.

Pierrat, C. (2011). Risque palustre : appréhender la vulnérabilité des individus à l'échelle locale (Sud du Bénin). *VertigO*, 11(3). *la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 11 Numéro 3 | décembre 2011, mis en ligne le 20 décembre 2011, consulté le 02 mars 2022. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/11549> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.11549>

Rieucau, J., « Une plage habillée, sans bains : Fidjrossè à Cotonou (Bénin) », *Via* [En ligne], 16 | 2019, mis en ligne le 30 mars 2020, consulté le 02 mars 2022. URL : <http://journals.openedition.org/viatourism/4791> ;DOI :<https://doi.org/10.4000/viatourism.471>

Rossi, G. (1996). L'impact des barrages de la vallée du Mono (Togo-Bénin). La gestion de l'incertitude. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 2(2), 55-68.

Tamrere, T. (2013). *Traitement des données ADCP et analyse des conditions hydrodynamiques littorales durant la campagne de Grand-Popo 2013 ; implication dans l'évolution morphologique observée.* (Mémoire). Université d'Abomey-Calavi.

Ulrich C.S. Y. Allé, Pierre V. Vissoh, Hervé Guibert, Euloge K. Agbossou et Abel A. Afouda, « Relation entre perceptions paysannes de la variabilité climatique et observations climatiques au Sud-Bénin », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 13 Numéro 3 | décembre 2013, mis en ligne le 31 janvier 2014, consulté le 02 mars 2022. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/14361> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.14361>

Vissoh, P., Tossou, R., Dedehouanou, H., Guibert, H., Codjia, O., Vodouhe, S., & Agbossou, E. (2012). Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements climatiques : le cas des communes d'Adjohoun et de Dangbo au Sud-Est Bénin. *Cahiers d'Outre-Mer*, 65(260), 479-492.

VI. ANNEXE : Conditions climatiques et marines de la zone

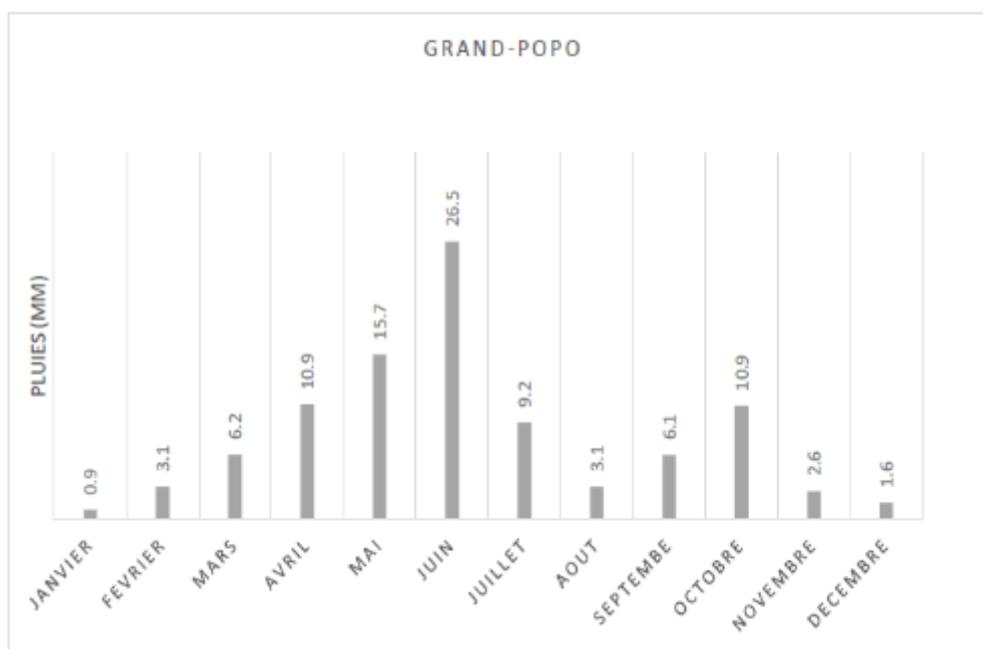
1. Climat

Le secteur qui nous intéresse est **en climat subéquatorial humide** sous l'influence de l'océan Atlantique.

Précipitations

Dans la région de Grand-Popo, il y a une alternance annuelle de quatre saisons distinctes et d'inégales durées :

- Une longue saison des pluies qui s'étend d'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, le vent est faible et l'humidité est relativement basse.



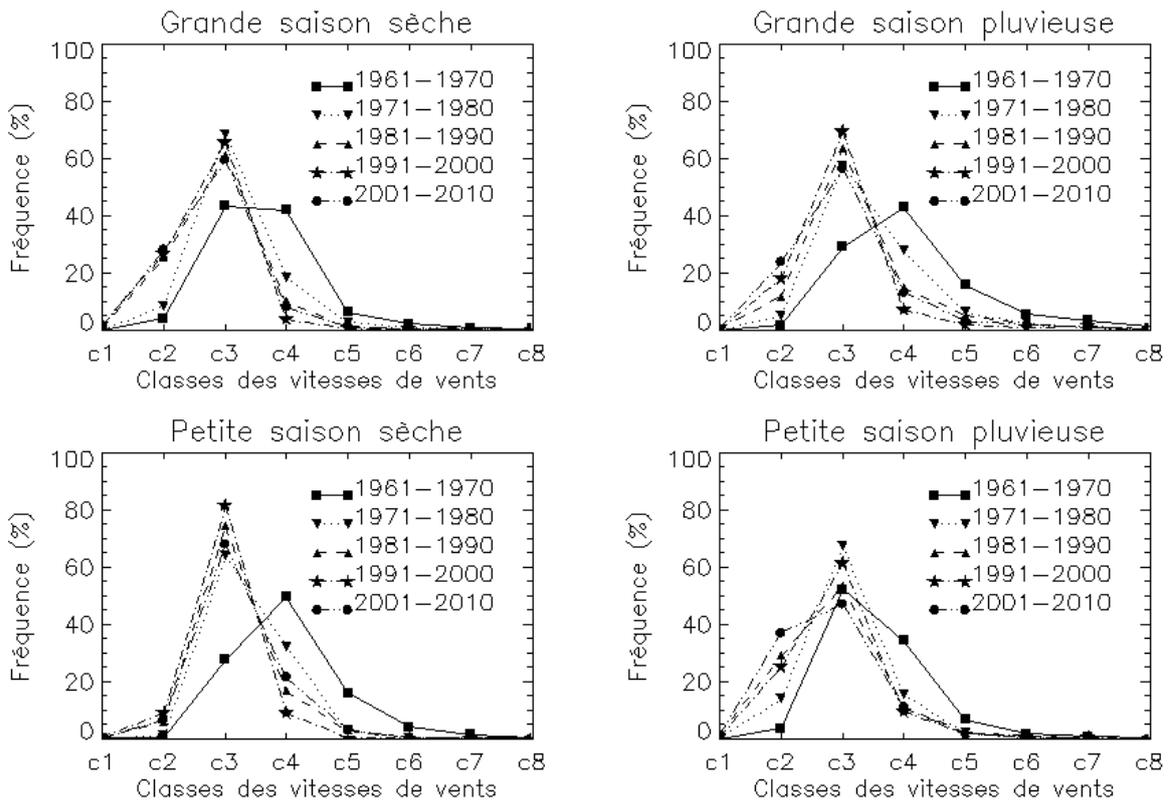
Source : Norda Stelo et BCI Consults, 2016

Régime pluviométrique moyen mensuel (1950-2009) à la station de Grand-Popo

Les vents

Tableau 2. Classes des vitesses de vents et leurs manifestations sur l'échelle de Beaufort / Classes of wind speeds and their manifestations on the Beaufort scale.

Classe des vitesses des vents	Vitesses des vents (m/s)	Force	Manifestations sur l'échelle de Beaufort
C1	1 à 3	2	« Légers », à peine perçu sur le visage
C2	4 à 5	3	« Faible », feuilles bougent, fumées inclinées
C3	6 à 8	4	« Modéré », le vent soulève la poussière et seules les petites branches bougent
C4	9 à 11	5	« Modéré-Fort », les arbustes se balancent
C5	12 à 14	6	« Fort », les grosses branches d'arbres bougent, tenir un parapluie devient difficile
C6	15 à 17	7	« Très Fort », les arbres sont entièrement agités, la marche à pied demande un effort
C7	18 à 21	8	« Rafale », les petites branches cassent
C8	22 à 24	9	« Fort coup de vent », toitures fragiles endommagées, certains arbres cassent

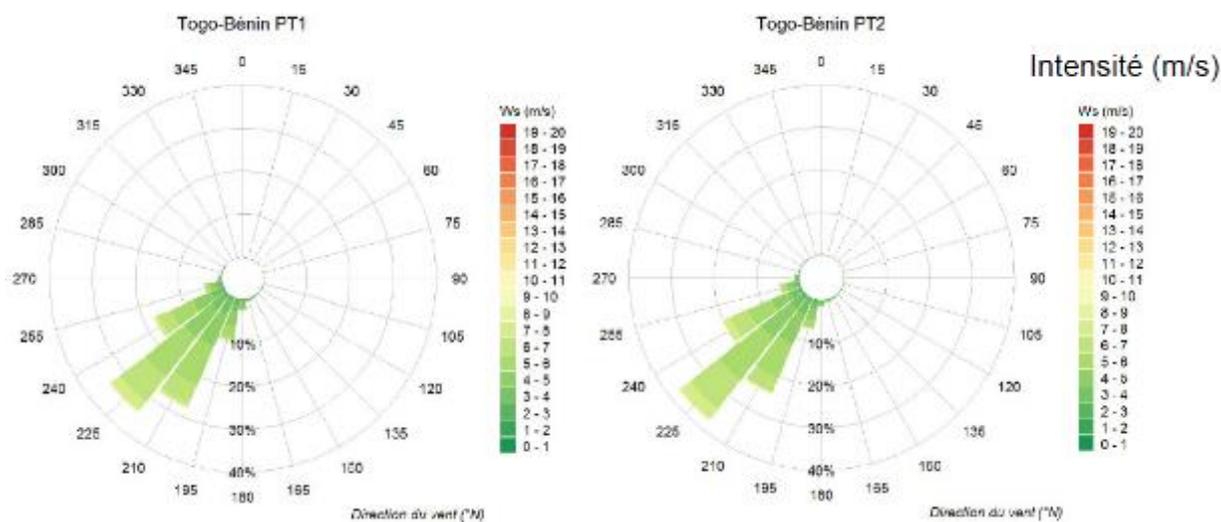


Fréquences des 8 classes de vitesses instantanées maximales des vents (« Légers » à « Fort coup de vent ») à la station synoptique de Cotonou entre 1961 et 2010 / Frequency of 8 classes of maximum instantaneous wind speed (“Light” to “Strong Gale”) to the synoptic station of Cotonou between 1961 and 2010



Source : Artelia, 2020

Localisation des points PT1 et PT2



Source : Artelia, 2020

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

Les vents qui soufflent sur la zone en toute saison sont de **secteur SW (98% de l'année) et d'intensité moyenne mensuelle de 4 à 6 m/s** (ACL Consultant 2017). 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).

2. Conditions marines

Marées :

Les marées sont de type semi-diurne régulier. Lors de notre mission, le marnage en avril est faible d'environ 0.8 m. Les marées sont plus fortes aux équinoxes (BM 0,23 m ; PM 1,77 m soit 1,54 m de marnage pour le 21 mars 2022).

Courants :

Il convient de distinguer trois types de courants sur la zone d'étude :

Courants de marée

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).

Courants généraux

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 [25]) et le wharf de Kpémé Piton (1986).

Les courants océaniques contribuent peu voire pas au transport sédimentaire dans la zone littorale.

Courant de dérive littoral ou long-shore current

Lorsque les vagues arrivent obliquement à la côte, elles engendrent en déferlant, un courant parallèle au rivage dit « courant de dérive littoral ». C'est lui qui transporte les matériaux remis en suspension par les vagues et donne lieu à un transport solide dit « transit littoral ».

Compte tenu de la direction de provenance dominante des houles (SSW) par rapport à l'orientation du rivage (axe 250°N-70°N, normale au 160°N), ces mouvements s'effectuent majoritairement en direction de l'Est. Pour des houles comprises entre 1 et 1,5 m, les vitesses sont généralement de 0,3 à 0,7 m/s.

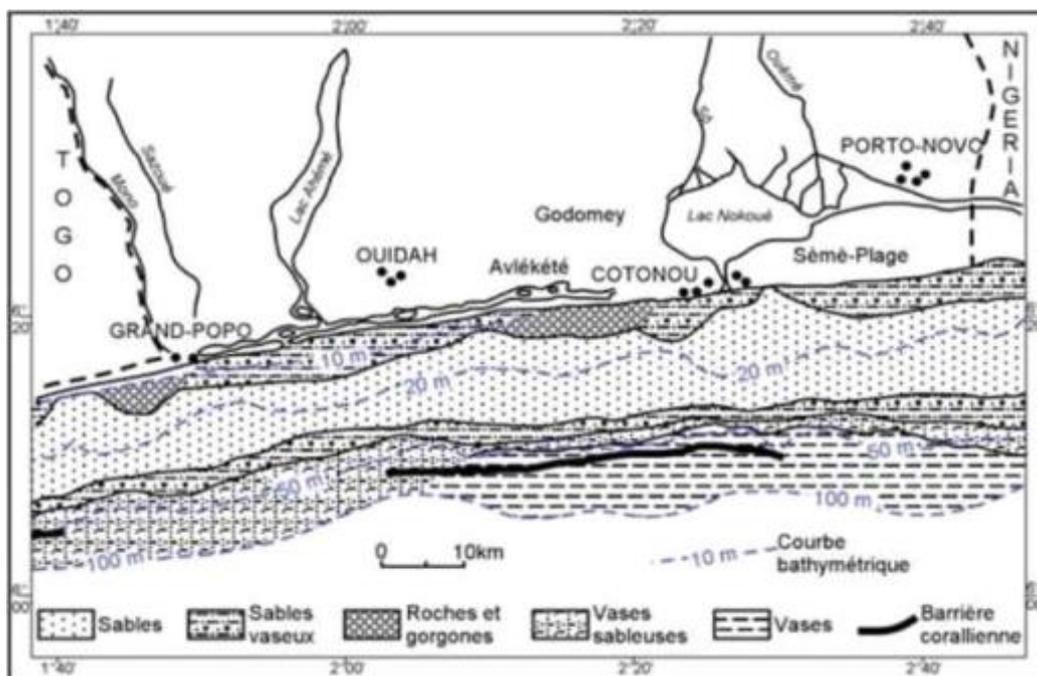
L'analyse des courants mesurés indique une prédominance de la composante long-shore orientée vers l'Est sur la composante cross-shore orientée vers le large.

Nature des fonds marins

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 compris entre 10 et 100 m.

On peut décrire :

- 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 carte ci-après) ;
- 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 Agoïn Houta.



(BCEOM, 1974, présenté dans NORDA STELO (2016))

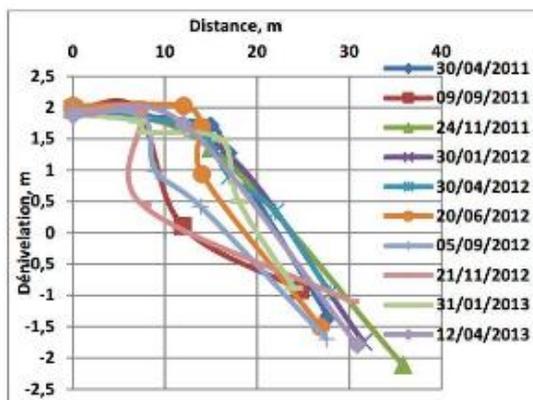
Nature des fonds marins du Bénin

Granulométrie

D'après NORDA STELO, 2016 [40], des prélèvements de sédiments ont été effectués sur les plages de Hillacondji à Djondji ainsi qu'en mer :

- 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.

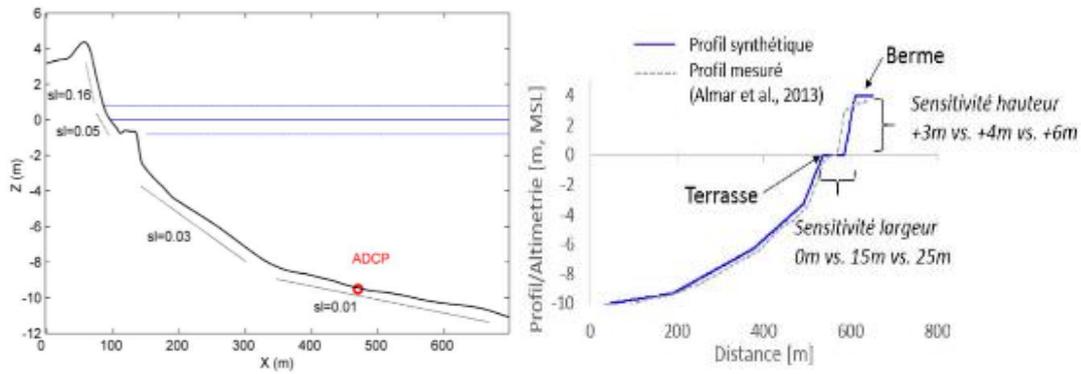
Données topo-bathymétriques



Source : DEGBE et al., (2017)

Profils de plage effectués à Grand-Popo

Pour l'évaluation quantitative des risques d'érosion côtière et d'inondation pour le Bénin – secteur B1, IMDC (2017) a considéré un profil de plage type, résultat d'une analyse de sensibilité et de mesures sur le terrain (Almar et al., 2014; Degbe et al., 2017).



Source : ALMAR et al, (2014) et IMDC (2017)

Profil topo-bathymétrique mesuré par ALMAR et al, (2014) et profils topo-bathymétriques