



Ministère de l'Aménagement du Territoire, de
l'Urbanisme, Chargé des Affaires Foncières et des
Transports Terrestres

**Projet de Relèvement Post-Kenneth et de Résilience (PRPKR)
N° P171361**

Financement : Banque Mondiale

Accord de Financement :

Crédit : 6529-KM Don : D549-KM

**PROJET DE RELEVEMENT POST-KENNETH ET DE RESILIENCE -
DIAGNOSTIC GENERAL DE L'EROSION COTIERE ET DE LA SUBMERSION
MARINE SUR LE LITTORAL COMORIEN**

**TERMES DE REFERENCE POUR LA SUPERVISION ET LE CONTROLE DES
TRAVAUX D'AMENAGEMENT CÔTIERS**

16 AVRIL 2024

ACRONYMES, ABREVIATIONS ET CONVENTIONS

Abréviations / acronymes

AMCC Alliance Mondiale contre le Changement Climatique **APD** Avant-Projet Détaillé

BM Banque Mondiale

CM Cote Marine (Zéro Hydrographique)

DAO Dossier d'Appel d'Offres

IGN Institut National de l'Information Géographique et Forestière **MNT** Modèle Numérique de Terrain

NM Niveau moyen

PBMA Plus Basse Mer astronomique

PEID Petit Etat Insulaire en Développement

PHMA Plus haute Mer Astronomique

PNM Parc National de Mohéli

PNUD Programme des Nations unies pour le développement **SHOM** Service Hydrographique et Océanographique de la Marine **TN** Terrain Naturel

UGP Unité de Gestion de Projet

ZH Zéro Hydrographique (Zéro des cartes marines)

Conventions

Le système d'unité pris en compte dans ce rapport est le système métrique international (SI).

1 - INFORMATION GENERALE ET CONTEXTE

1.1 - Contexte et justification du projet

L'Union des Comores comprend quatre îles, à savoir Ngazidja (ou Grande Comore), Mwali (Mohéli), Ndzuani (Anjouan) et Maoré (Mayotte). Les Comores sont un Petit Etat Insulaire en Développement (PEID) avec une population de 800 000 habitants et l'un des pays les plus densément peuplés d'Afrique. En tant que PEID, les Comores se caractérisent par des ressources limitées et une faible résilience économique. La population comorienne dépend principalement de moyens de subsistance fondés sur des cultures traditionnelles et sur les ressources naturelles. Les pratiques existantes d'utilisation des terres liées à la gestion des ressources naturelles ne sont pas optimales, ce qui entraîne une insécurité alimentaire et hydrique. En outre, en raison de sa position géographique et de ses facteurs climatiques, les Comores sont vulnérables aux catastrophes naturelles telles que les tempêtes tropicales, les inondations, l'élévation du niveau de la mer, les éruptions volcaniques, les tremblements de terre et les glissements de terrain. L'exposition aux catastrophes naturelles, conjuguée aux pressions anthropiques sur les ressources naturelles, engendre la vulnérabilité inhérente de la population comorienne, qui sera encore aggravée par l'évolution des conditions climatiques.

Dans la nuit de mardi 23 avril au mercredi 24 avril 2019, l'œil du cyclone Kenneth a frôlé de très près la pointe nord de l'île de Grande Comore, passant à près de 20 km des terres, avec des rafales estimées à plus de 200 km/h près de l'œil au moment de son passage. Des pluies torrentielles et des vents violents se sont abattus sur l'île. Certains tronçons de voirie côtière et les murs de soutènement ont été endommagés, d'autres détruits, comme par exemple sur Anjouan entre Sima et Moya. Des maisons en béton ont également été inondées et endommagées, du fait de la houle qui a submergé les quartiers à Fombouni (Grande Comore), à Ouani (Anjouan), et à Nioumachoua (Mohéli) et à Djoeizi (Mohéli). Sur Fombouni et Pajé, les maisons situées en arrière de celles du front de mer et le long des ruelles latérales ont également subi des inondations marines et des dégâts.

Suite à cette catastrophe, un Projet de relèvement Post-Kenneth et de résiliences a été mis en place par le Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, chargé des Affaires Foncières et des Transports, et financé par la Banque mondiale. [1]

Une Unité de Gestion de Projet (UGP) rattachée au Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, chargé des Affaires Foncières et des Transports, assure la Maitrise d'Ouvrage du projet.

Dans le cadre de la Composante II du Projet une mission a été conduite visant notamment à fournir les éléments techniques et scientifiques nécessaires à la conception et au dimensionnement des travaux de réduction des risques d'érosion côtière et de submersion marine sur les sites les plus à risque. Cette mission, conduite par EGIS Water & Maritime et BECECO, a permis de concevoir les avant-projets (APD) des travaux de renforcement et de réhabilitation du littoral comorien sur les zones prioritaires, sinistrées par le cyclone Kenneth, et parmi les plus vulnérables aux aléas côtiers d'érosion et de submersion, à savoir : Fombouni (Grande Comore), Djoeizi (Mohéli), Nioumachoua (Mohéli), et Ouani (Anjouan) (cf. situation Figures 1-1 et 1-2). Les sites retenus et les travaux à réaliser sont précisés plus loin dans le présent document.

Le dossier d'APD, le Dossier d'Appel d'Offres (DAO) pour le marché de travaux et l'Étude d'Impact Environnemental et Social (EIES) sont disponibles sur demande auprès du Maître d'Ouvrage.



FIGURE 1-2 : SITUATION DES 4 SITES CONCERNES PAR DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT DE PROTECTION

1.2 - Nature et coûts estimatifs des travaux selon l'étude menée par Egis-Becceco

Pour chacun des 4 sites prioritaires a été étudié au stade APD un scénario d'aménagement permettant de limiter l'impact des phénomènes maritimes sur le littoral. Plus précisément, ces scénarios ont été conçus pour donner un niveau de protection le plus haut possible, de manière à réduire les aléas littoraux (submersion et érosion), mais ils ne permettent pas d'assurer une protection totale contre les événements extrêmes. Ces scénarios ont été retenus dans le cadre d'un atelier multipartite à l'issue d'une comparaison technique et économique de solutions développées au stade APS.

Le soumissionnaire est informé par ailleurs du fait que les scénarios d'aménagements retenus doivent être entendues comme transitoires. Étant donné que ces scénarios ne peuvent pas assurer une protection totale aux événements extrêmes, l'étude technique a fait des recommandations en vue des actions de relocalisation des enjeux les plus exposés qui devraient être mis en place à moyen terme. Ces travaux de relocalisation ne sont pas financés dans le cadre du projet PRPKR et ne sont donc pas concernés par la présente mission de supervision et contrôle des travaux. Néanmoins, en ce qui concerne plus particulièrement les sites de Nioumachoua (Mohéli) et Ouani (Anjouan), il est important de noter que le démarrage des travaux est conditionné à la relocalisation préalable d'enjeux situés actuellement sur le front de mer.

La nature et le coût estimatif des travaux, étudiés au stade APD et faisant l'objet de la présente mission, sont décrits ci-après pour chacun des 4 sites concernés. Les plans établis au stade APD sont présentés en Annexe.

1.2.1 - Foubouni

Foubouni est une ville située sur la côte sud-est de l'île de Grande Comore. Le site où les travaux d'aménagement sont prévus s'étend du Nord de la Mosquée de Vendredi en direction de l'Est et du Sud jusqu'au Sud de la Mosquée Foukouni (voir Figure 1-2), avec un linéaire d'intervention total d'environ 500m. Il s'agit d'une zone urbaine rocheuse, présentant de forts enjeux humains, en particulier depuis le passage de Kenneth.

Pour le site de Foubouni, la conception des aménagements de protection vise un niveau de protection le plus haut possible, de manière à réduire l'aléa submersion, mais qui reste compatible avec les usages du site, et n'accentue pas le risque en cas d'événement extrême (risque inondation notamment).

Le scénario retenu consiste en la mise en œuvre, le long du promontoire rocheux, d'un mur chasse-mer suffisamment ancré et/ou présentant une forme limitant les efforts horizontaux et les moments de renversement. Concrètement, la solution d'aménagement considérée consiste en la construction d'un perré béton incurvé, type Galveston, implanté sur les zones basses en partie Nord de la zone aménagée et en partie Sud du promontoire (d'un linéaire d'environ 392 m), et d'un mur chasse-mer vertical adossé à la route sur la zone intermédiaire située en partie centrale et haute du promontoire (d'un linéaire d'environ 84 m).

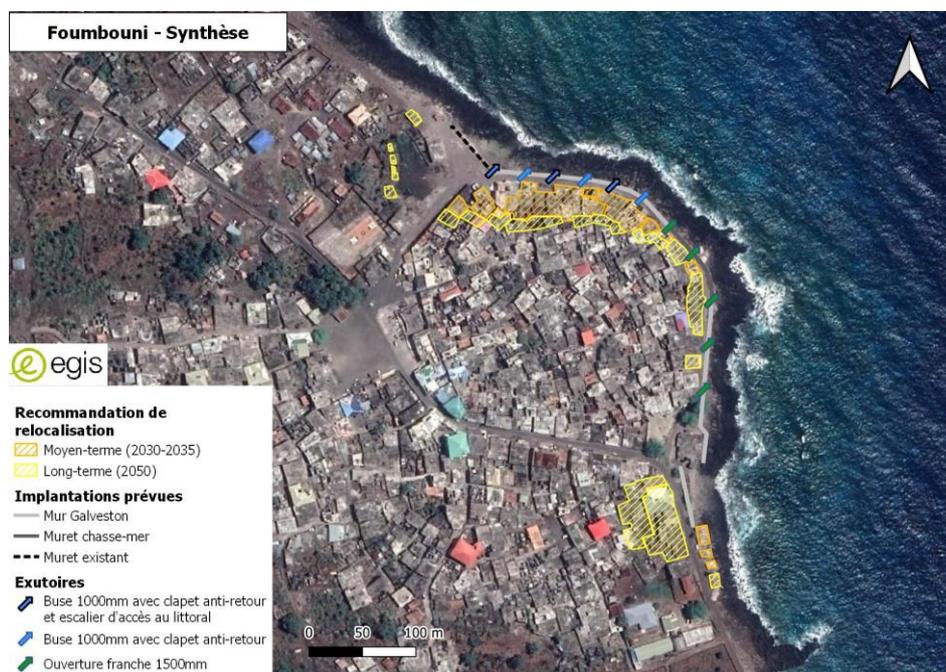
Il est rappelé que cette solution ne protégera pas les enjeux du risque submersion pour les événements cycloniques majeurs ; des franchissements importants sont à attendre sur certains

secteurs, compte tenu de la faible altimétrie de la zone. Des ouvrages d'évacuation des volumes de franchissement et ruissellement terrestre sont prévus à intervalles réguliers le long de la protection, de même que des accès aménagés au littoral. Concrètement, il est prévu la réalisation de six (06) passages de buses (DN1000) équipés de clapets muraux à battant incliné, ainsi que la réalisation de cinq (5) ouvertures franches de 1,5 m de large avec des escaliers en béton non armé pour un accès à la mer.

Les travaux comprennent la démolition ou la réutilisation des ouvrages existants dans l'emprise des ouvrages à construire (dont le muret construit récemment).

Les coûts d'investissement sont estimés à 2.7 M€ HT (-15% / +30%) [1]. La durée de travaux est estimée à 16 mois pour ce site uniquement.

Le plan de synthèse des aménagements prévus est présenté ci-après sur la Figure 1-2 :



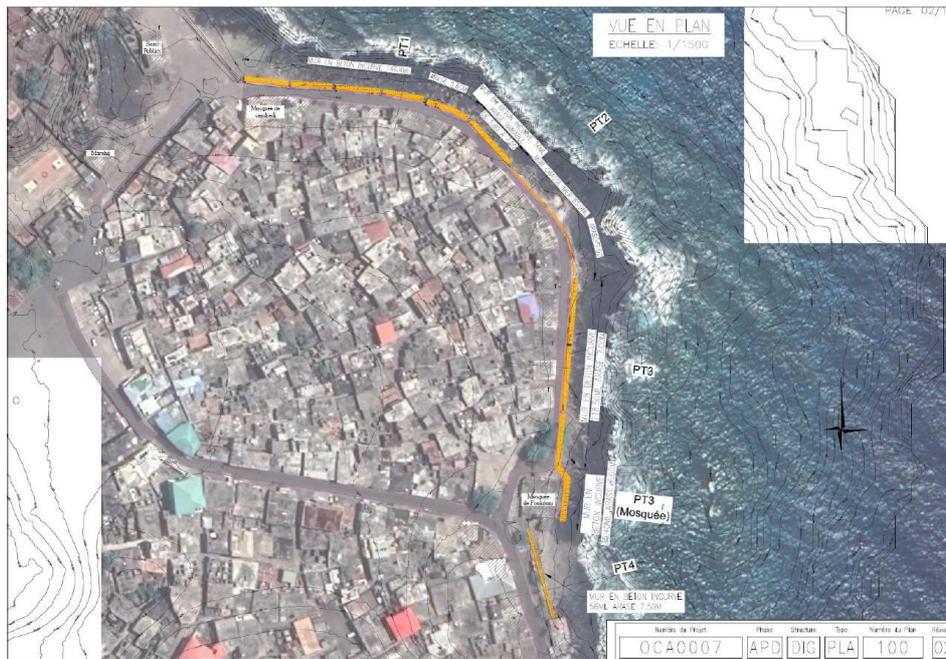


FIGURE 1-2 : SYNTHÈSE DES AMÉNAGEMENTS PRÉVUS A FOUBOUNI

1.2.2 - Djoezi

Djoezi est une ville située sur la côte nord de l'île de Mohéli. Le site ou les travaux d'aménagement sont prévus s'étend du Nord-Ouest du centre urbain et tout le long de la route littorale partant à l'Est, passant par le centre urbain, avec un linéaire d'intervention total d'environ 900m. Il s'agit d'une zone sableuse urbaine, présentant de forts enjeux humains et une route stratégique, exposés de façon chronique.

Pour le site de Djoezi, la conception des aménagements de protection vise à limiter :

- l'impact de la submersion sur la zone Nord-Ouest, relativement naturelle ;
- la vulnérabilité des enjeux face à la houle en zone urbaine, et y limiter l'érosion ;
- limiter les dommages liés à la houle sur la route en partie Est.

Au Nord-Ouest du centre urbain et le long de la route littorale partant à l'Est, les mesures envisagées visent à renforcer la protection littorale existante :

- sur la zone Nord-Ouest, relativement naturelle, en favorisant le rétablissement d'une dynamique naturelle d'échanges entre la plage, le haut de plage et le massif dunaire ;
- le long de la route littorale stratégique partant à l'Est, en renforçant son soutènement vis-à-vis de l'action mécanique des vagues et du risque de déstabilisation en cas d'affouillement.

Concrètement, la solution d'aménagement retenue au secteur Nord-Ouest consiste en la mise en place de ganivelles et guidage du public, de la végétalisation (4700 m²), la création d'un cheminement piéton et l'accès à la plage, sur un linéaire d'environ 200m.

Au niveau du centre urbain, le scénario de mesures de protection retenu consiste en la construction des ouvrages permettant une protection transitoire contre l'érosion et l'impact mécanique des vagues. Concrètement, la solution d'aménagement considérée prévoit le démantèlement de la digue existante (260 m), l'implantation d'enrochements de protection en talus discontinu au droit des rues (340 m) et la réalisation des épis en bois en haut d'estran (7 épis avec une espacement entre eux de 60 m).

Finalement, au Sud-Est du centre urbain, les mesures envisagées prévoient la mise en place des enrochements de protection du soutènement de la route littorale sur une linéaire d'environ 320 m.

Le plan masse synthétisant les aménagements de protection prévus est présenté sur la figure suivante (voir Figure 1-3).

Les coûts d'investissement sont estimés à 1.44 M€ HT (-15% / +30%) [2]. La durée de travaux est estimée à 9 mois pour ce seul site.



FIGURE 1-3 : SYNTHÈSE DES AMÉNAGEMENTS PRÉVUS À DJOIEZI

1.2.3 – Nioumachoua

Nioumachoua est la deuxième ville de l'île de Mohéli, située dans la partie sud de l'île. Le site où les travaux d'aménagement sont prévus concerne la partie urbanisée du littoral, c'est-à-dire la plage principale en partie Sud de la ville, avec un linéaire d'intervention total d'environ

800m. Il s'agit d'une zone sableuse mixte (urbaine / rurale), bordée de larges récifs et mangroves, présentant de forts enjeux humains et touristiques (cœur de parc).

Pour le site de Nioumachoua, la conception des aménagements de protection vise à rétablir une dynamique la plus naturelle possible, à l'aide d'aménagements souples et mobilisant autant que possible les ressources matérielles et humaines locales.

Le scénario retenu a l'ambition d'aider la nature au retour de conditions de dépôt de sable sur le site. L'objectif est d'amoindrir au maximum la dynamique néfaste actuellement des vagues durant les tempêtes contre le talus de haut de plage, les murs et autres protections plus légères (faites de petits enrochements).

Compte tenu du caractère emblématique du site, et de l'exposition à plus ou moins long terme des enjeux situées en 1^{ère} ligne de la zone d'étude, l'objectif de mettre en œuvre et expérimenter des solutions fondées sur la nature visant à renaturer ce site revêt ici une importance particulière. Le scénario retenu vise ainsi une renaturation et restauration d'un espace de mobilité, ou espace de respiration efficace en lien avec la libération des terrains exposés situés le long du front de mer. Cet espace n'est pas sacrifié, au contraire, il permet aux submersions et aux courants induits par les vagues d'empiéter sur une largeur de plage suffisante, et in-fine de réduire l'ampleur des épisodes érosifs et d'aider à une meilleure résilience du système sableux plage-dune.

Plus précisément, la solution d'aménagement retenue prévoit les actions et aménagements suivants :

- La suppression des éléments durs, artificiels, situés sur l'estran (environ 220 m³).
- Le réalignement de la plage à l'aide d'un transfert mécanique de sable depuis la partie ouest vers la partie est de la plage, avec l'objectif de retrouver une largeur de plage uniforme sur le site (volume de sable à mobiliser / déplacer estimé à 26 500 m³).
- En partie Ouest de la plage, les aménagements viseront une renaturation la plus importante possible du système plage-arrière-plage, avec :
 - o La restauration d'un petit relief de cordon sur le haut de plage (burrelet dunaire, ou léger relief, de 10 m de large, 305 m), dont le rôle sera d'offrir une protection contre la submersion avec une hauteur uniformisée le long de cette partie de la plage.
 - o Une mise en défens du massif dunaire, mise en œuvre de pièges à sable (5 rangs de ganivelles), et la végétalisation des espaces encore dépourvus de végétation (environ 3400 m²).
 - o La création d'un espace boisé tampon d'arrière-plage, derrière le cordon, qui servira d'espace possible de déplacement du cordon et de tout le prisme sableux littoral après 2050.
- En partie Est de la plage, les aménagements viseront à limiter le recul du rivage avec :
 - o La construction d'une protection provisoire en haut de plage en enrochements de 4.6 m de hauteur (environ 360 m), permettant de limiter le recul en cas de tempête ;
 - o L'aménagement d'épis hydrauliques de type épis SEMS (systèmes d'épis Maltais-Savard) sur la partie haute de l'estran (7 épis avec une longueur prévue d'environ 14 mètres), constitués de matériaux biosourcés locaux (bois – végétaux), ayant pour objectif de favoriser le maintien du sable rechargé sur ce secteur, en limitant la mobilité du sable et les départs en direction de l'Ouest, et en direction des mangroves au Nord-Est.

Les coûts d'investissement sont estimés à 1.5 M€ HT (-15% / +30%) [1]. La durée de travaux est estimée à 14 mois pour ce seul site.

Le plan de synthèse des aménagements prévus est présenté ci-après sur la Figure 1-4.



FIGURE 1-4 : SYNTHÈSE DES AMÉNAGEMENTS PRÉVUS À NIOUMACHOUA

1.2.4 – Ouani

Ouani est une ville située sur la côte nord de l'île d'Anjouan. Le site où les travaux d'aménagement sont prévus concerne la zone de l'aéroport de l'île d'Anjouan, qui se trouve immédiatement au nord de Ouani-Centre, avec un linéaire d'intervention total d'environ 300m. (voir Figure 1-5).

Pour le site de Ouani aéroport, la conception des aménagements de protection suit les objectifs suivants :

- Une réduction de l'érosion côtière sur le secteur de l'aéroport par la mise en place de mesures stockant les sédiments et/ou réduisant les phénomènes moteurs de l'érosion (houle et dérive littorale).
- Une protection « partielle » des enjeux de services (aéroport) face aux submersions afin d'assurer le maintien de leur utilisation et service à moyen-long- terme, mais autorisant des interruptions événementielles lors des événements les plus extrêmes.

En lien avec ces objectifs, le scénario d'aménagement retenu au niveau de l'aéroport prévoit :

— En extrémité de piste :

- La fourniture et mise en place des épis en bois en haut d'estran avec l'objectif de limiter le recul du trait de côte au droit de la piste de l'aéroport (total de 3 épis de longueur 30 à 50 mètres et de 70 mètres d'espacement).
- L'apport et le rechargement de l'estran en galets (extension du haut d'estran de 10m vers le large et rechargement jusque +3.0m), avec l'objectif de saturer les épis pour éviter une réduction significative du transit littoral ;
- L'apport et la mise en place d'un cordon de galets en haut de plage avec une largeur de 4 m et une longueur de 255 m, avec l'objectif de limiter le recul en cas d'érosion événementielle extrême et de réduire l'emprise de submersion marine sur la piste d'aéroport.

— En rive gauche du débouché du fleuve, la poursuite et renforcement des actions de revégétalisation / reboisement.

Les coûts d'investissement sont estimés à 0,74 M€ HT (-15% / +30%) [1]. La durée de travaux est estimée à 9 mois pour ce seul site.

Le plan des aménagements prévus pour la zone de l'aéroport sont présentés ci-après sur la Figure 1-5 :



FIGURE 1-5 : SYNTHESE DES AMENAGEMENTS PREVUS A OUANI – SECTEUR AEROPORT

2 - CONSISTANCE ET DUREE DES PRESTATIONS

2.1 - Mission objet de cette consultation

Les services du Consultant consistent à assurer une mission de Maîtrise d'Œuvre relative au contrôle, supervision et suivi de l'exécution des travaux.

2.2 - Durée de la mission

La mission est prévue pour une durée maximale de 20 mois, la durée globale des travaux étant estimée à 20 mois, à compter du mois d'Avril 2024, selon le planning prévisionnel établi au stade APD [2]. Le planning prévisionnel de travaux envisagé tient compte d'une réception des travaux à fin novembre 2025. Cette échéance est liée au financement du projet PRPKR, et devra donc être respectée par l'Entreprise en charge des travaux. Les travaux sur les 4 sites devront être réalisés en parallèle afin de satisfaire cette contrainte. Pratiquement, le délai global de réalisation dépendra de la capacité de l'entreprise sélectionnée à mobiliser plusieurs activités en parallèle, sur les différents sites.

Les hypothèses suivantes, notamment, ont été considérées pour l'élaboration de ce planning prévisionnel :

- Date de démarrage de la phase de préparation en Avril 2024 ;
- Travaux par voie terrestre (hors amenée-repli et approvisionnement, réalisés par voie maritime) ;
- Démarrage des travaux en parallèle sur deux sites : Foubouni et Nioumachoua (moyens très différents) ;
- Début des travaux d'enrochements sur le site de Djoeizi, puis à Ouani, compte tenu des délais et aléas d'approvisionnement théoriquement plus importants pour ce dernier site ;
- Lorsque c'est possible, la mise en œuvre des aménagements de protection est prévue après la saison cyclonique (Jan.-Avr.), et idéalement en septembre dans le but de profiter de conditions hydrodynamiques clémentes durant les phases de travaux sur l'estran ; c'est en particulier le cas pour Nioumachoua (rechargement/reprofilage, installation des épis SEMS), et Ouani (talus en enrochement et épis bois) ;

Ce planning tient compte des possibles contraintes réglementaires auxquelles seront soumis les travaux envisagés, qui seront définies lors de l'élaboration de l'Etude d'impact Environnementale et Sociale. Le phasage précis de l'ensemble des opérations sera à finaliser par l'UGP en concertation avec les institutions gouvernementales et locales compétentes, en lien notamment avec les procédures d'obtention des autorisations supposées acquises au démarrage des travaux, et le planning d'attribution du marché de travaux.

Le planning prévisionnel de travaux envisagé pour les quatre sites est présenté sur la figure suivante (Figure 2-1), de façon indépendante, c'est à dire, chaque planning a été développé sans prise en compte du planning de réalisation associé aux autres sites d'intervention.

OUANI																
Tâche	2025												2026			
	fév	mar	avr	mai	jui	jui	aoû	sept	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai
Préparation et installations de chantier																
Implantation, investigations, autorisations et études d'exécution																
Approvisionnement des matériels et matériaux																
Travaux de gestion du haut de plage et massifs dunaires																
Epis bois																
Rechargement et cordon de galets																
Végétalisation des berges																
Finitions et repli de chantier																

NIOUMACHOUA																
Tâche	2025												2026			
	fév	mar	avr	mai	jui	jui	aoû	sept	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai
Préparation et installations de chantier																
Implantation, investigations, autorisations et études d'exécution																
Approvisionnement des matériels et matériaux																
Travaux préparatoires																
Retrait des ouvrages en dur sur la plage																
Travaux des ouvrages de protection hors génie civil																
Talus de protection de haut de plage en enrochements																
Travaux de gestion du haut de plage et massifs dunaires																
Rechargement/Reprofilage de l'estran et cordon dunaire Partie Ouest																
Epis SEMS																
Pose des casiers ganivelles sur le cordon dunaire																
Mise en défens des zones libres d'arrière cordon																
Végétalisation (cordon dunaire et arrière cordon) y: boisement zone cheminement																
Suivi arrosage hebdomadaire																
Finitions et repli de chantier																

FOUMBOUNI																
Tâche	2025												2026			
	fév	mar	avr	mai	jui	jui	aoû	sept	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai
Préparation et installations de chantier																
Implantation, investigations, autorisations et études d'exécution																
Approvisionnement des matériels et matériaux																
Travaux préparatoires																
Préparation assise des ouvrages de protection																
Travaux de génie civil et VRD																
Murs de limitation des franchissements																
Réalisation du parement																
Réalisation des exutoires avec buse et clapet mural, escaliers et garde-corps																
Reprise de la route en arrière de la protection																
Finitions et repli de chantier																

DJOEZI																
Tâche	2025												2026			
	fév	mar	avr	mai	jui	jui	aoû	sept	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai
Préparation et installations de chantier																
Implantation, investigations, autorisations et études d'exécution																
Approvisionnement des matériels et matériaux																
Travaux préparatoires																
Préparation assise des ouvrages de protection																
Démantèlement et évacuation de la digue existante																
Travaux des ouvrages de protection hors génie civil																
Talus de protection des habitations																
Talus de protection de la route																
Travaux de gestion du haut de plage et massifs dunaires																
Epis bois																
Pose des casiers ganivelles et mise en défens zone Nord-Ouest																
Végétalisation du cordon dunaire																
Travaux de génie civil et VRD																
Réfection du perré et rejointoyage																
Finitions et repli de chantier																

FIGURE 2-1 : PLANNING PREVISIONNEL DE TRAVAUX (ce planning est donné à titre indicatif)

3 - COMPOSITION DE L'EQUIPE ET QUALIFICATION DEMANDEES POUR LE PERSONNEL-CLE

3.1 - Aspects Généraux

Le prestataire sera sélectionné conformément aux directives du Gouvernement des Comores et de la Banque Mondiale. Le prestataire devrait être une entreprise ou un consortium d'entreprises (Joint-venture) composé d'experts internationaux, qui apporteront des connaissances et leur expérience sur les meilleures pratiques internationales, ainsi que, autant que possible, d'experts locaux ou régionaux en mesure de faciliter la mission sur le terrain (pour s'assurer que le contexte et les expériences sont pleinement pris en compte, en fournissant les aspects spécifiques et les enseignements tirés par rapport au contexte national). Dans le cas d'une coentreprise ou d'un consortium, celui-ci peut être composé de trois entités au maximum et une organisation chef de file doit être désignée.

3.2 - Références du Consultant

La prestation sera menée par un cabinet de consultant au profil suivant :

- Spécialiste en aménagements maritime et littoral. Compétences spécifiques dans la conception et dimensionnement d'ouvrages maritimes et de protection côtière, travaux de génie civil, enrochements, ainsi que le reprofilage des plages, aménagement dunaire, et de manière plus générale les solutions douces de maintien du trait de côte.
- Expérience avérée aux Comores, dans des PEID, en Afrique de l'Est.

3.3 - Composition et qualifications de l'équipe projet

L'équipe projet devra réunir les compétences et expertises suivantes :

- Maîtrise d'œuvre études et travaux de génie civil et génie côtier, de renforcement côtiers et routes côtières, en techniques douces et dures ;
- SIG, base de données ;
- Enquête de terrain, prélèvements et mesures topographiques et bathymétriques, géotechnique ;
- Concertation.

La mission nécessitera une équipe de spécialistes qui comprend un chef de mission qui intervient activement tout le long de la mission, et l'expertise clé suivante :

Chef de mission :

Le chef de mission, en dehors de son champ de spécialités, pilotera la mission, encadrera les prestations de terrain et rendra compte auprès de l'UGP. Il peut être basé à l'étranger, mais sa présence sur place sera significative lors des étapes de réception a minima.

- Formation : Ingénieur en génie civil ou génie côtier
- Compétences principales : contrôle et supervision des travaux de génie civil et génie côtier ;

- Compétences secondaires : conception, dimensionnement, entretien d'ouvrages maritimes et de protection des rives et du littoral, changements climatiques, hydrologie et océanographie côtière, environnement marin, socio économie ;
- Expériences : Il disposera d'au moins 15 ans d'expérience dans les domaines de compétences ci-dessus et aura réalisé des missions équivalentes, avoir surveillé et contrôlé quatre (4) projets similaires et assuré au moins deux (2) fois la tâche de Chef de Mission.

Besoins en personnel cadre :

Le chef de mission s'associera, via des ingénieurs d'étude ou consultants spécialisés, les compétences complémentaires suivantes :

- Un ingénieur génie civil, adjoint au chef de mission, en charge du contrôle des travaux, doit être de formation ingénieur en génie civil ou ingénieur génie côtier (Bac+5), et ayant au moins dix (10) années d'expérience confirmée dans le domaine de la surveillance et du contrôle de travaux publics. Il devra avoir surveillé et contrôlé deux (2) projets similaires et assuré au moins une (1) fois la tâche d'Adjoint au Chef de Mission. Sa présence sur site sera fondamentale pour le bon déroulement de la mission.
- Un expert environnementaliste, (titulaire d'un bac plus 5 en Environnement ; ou tout autre diplôme équivalent), ayant au moins 08 ans d'expériences professionnelles dans le domaine de l'évaluation environnementale et sociale, suivi et contrôle des aspects environnementaux et sociaux.

Il doit avoir réalisé : (i) quatre (4) études d'impact environnemental et social et (ii) participé à deux (2) missions de contrôle de mise en œuvre de mesures de gestion en phase travaux ; il devra assurer le suivi environnemental dans le cadre de la supervision des travaux (suivi ESHS).

- Un spécialiste en développement social (titulaire d'un Bac plus 5 en sociologie, droit, philosophie ou tout autre diplôme similaire), ayant au moins 8 années d'expériences professionnelles ; notamment dans le domaine de suivi, contrôle et mise en œuvre d'un plan d'action de réinstallation, de mécanisme de gestion de plainte et d'un plan de gestion de la main d'œuvre. (Au moins deux missions en tant que spécialiste social principal pour chaque volet cité ci-dessus)

Personnel d'appui :

- Un ingénieur génie civil ou Ingénieur génie côtier hautement qualifié de formation Ingénieur en Génie civil, Génie Côtier ou Ingénieur des Travaux Publics (Bac+5), adjoint au chef de mission, et ayant au moins Dix (10) années d'expériences confirmées en conception et dimensionnement d'ouvrages de protection maritimes ou portuaires (épis, brise lames, etc.) et en travaux de génie civil similaires ou analogues à ceux devant être réalisés du projet ;
- Un spécialiste en analyse de la dynamique littorale avec un profil d'océanographe ou d'expert en hydrologie marine ;
- Un ingénieur géotechnicien ayant au moins une expérience dans des projets similaire avec Dix (10) années d'expérience confirmées dans le domaine de la réalisation et /ou du contrôle des travaux géotechniques ;
- Un ingénieur topographe ayant une solide expérience en aménagement côtier et/ou travaux sur le littoral.

Autres experts

- Les CV des experts autres que les experts clés doivent être inclus dans l'offre du prestataire.
- Le prestataire sélectionné devra mobiliser d'autres experts selon les besoins des termes de référence, en indiquant clairement leur profil et leur rôle.

Sous-traitances spécialisées : Il sera fait appel à des sous-traitants spécialisés en cas de besoin notamment en ce qui concerne les investigations de terrain, (profils topo-bathymétriques, investigations géotechniques, mesures holographiques, etc.). Pour chacun des points particuliers, le recours aux éventuels sous-traitants devra être indiqué ainsi que leurs références dans le domaine.

Logistiques : le consultant devra prendre toutes les dispositions sur le plan logistique pour pouvoir mener à bien sa mission En tenant compte des travaux simultanés sur les quatre sites et de la situation géographique de ces sites (contraintes d'accès et de logistique).

3.4 - Renforcement de capacités

Pour assurer un suivi constant des prestations du consultant et favoriser le développement de l'expertise au niveau des jeunes cadres, le Consultant associera Trois (03) ingénieurs locaux désignés sous le vocabulaire « Stagiaires de l'UGP » à tous les niveaux, à tous les travaux de terrain, d'investigation, de métrés, d'interprétation, de calcul, de suivi de travaux, de préparation de documents, de rapports et de plans dans le cadre du projet.

Le Consultant devra développer dans sa méthodologie la façon dont il compte intégrer ces agents dans l'équipe de contrôle et le type de formation proposée. Il devra prévoir la prise en charge de ces deux ingénieurs stagiaires dans son offre financière.

4 - ETENDUE DES SERVICES - CONTROLE, SUPERVISION ET SUIVI DE L'EXECUTION DES TRAVAUX

Pour les besoins de la mission de contrôle et la surveillance des travaux, le Consultant fera son affaire de ses besoins en véhicules et en équipements divers. Il devra préciser de façon claire les équipements (matériels topographiques, équipements de bureaux, matériel informatique, photocopieuse, téléphone, etc.) qu'il mettra à la disposition de la Mission de Contrôle pour en permettre le bon fonctionnement. Toutes ces acquisitions seront rétrocédées en bon état à l'administration à la fin de la mission.

Pour cette phase, les prestations à fournir par le consultant se présentent comme suit :

4.1.1 - Contrôle et surveillance pendant l'exécution des travaux

i) Surveillance et contrôle des travaux d'exécution

- L'examen, le contrôle et l'approbation des plans de construction, notes de calcul et autres documents soumis pour l'exécution des travaux.
- La supervision, la surveillance, l'inspection et le contrôle de l'exécution des travaux réalisés par l'Entrepreneur désigné en respect des termes et clauses des marchés passés par le Maître d'ouvrage, en matière de qualité, coût et délai.

- La supervision, la surveillance, l'inspection et le contrôle de l'exécution des travaux relatifs aux mesures environnementales et sociales en respect des termes et clauses environnementales passées par le Maître d'ouvrage, en matière de qualité, coût et délai.
- La surveillance et le contrôle des programmes (échancier) de construction de l'entrepreneur opérant dans le cadre du projet.
- L'étude ou l'analyse de toute adaptation ou modification du projet et des plans d'exécution aux circonstances des travaux et aux données nouvelles pouvant être recueillies pendant le déroulement de ceux-ci.
- La réalisation au fur et à mesure de l'avancement des travaux, des attachements et levés contradictoirement avec l'entrepreneur de façon à déterminer pour chaque activité les quantités réellement mises en œuvre.
- La supervision des essais de contrôle in situ et en laboratoire effectués par l'entrepreneur. Le Consultant sera responsable à son initiative des essais complémentaires s'il suspecte une quelconque malfaçon dans l'exécution des travaux. Il sera de même chargé de contrôler l'équipement de laboratoire de chantier de l'entrepreneur et la qualification du personnel qui y est employé ; il pourra exiger tout changement ou renforcement qu'il jugera nécessaire.
- La réalisation de tous les essais et levés nécessaires pour s'assurer de la qualité des travaux.
- La conduite sous la supervision de l'UGP des réunions périodiques organisées soit sur le chantier, soit dans les locaux du maître d'ouvrage avec l'Entrepreneur
- Le contrôle des rapports journaliers de l'entrepreneur relatifs à la main d'œuvre, au matériel utilisé, aux tâches et quantités mises en œuvre, aux conditions climatiques, et toutes autres informations importantes qui pourraient survenir sur le chantier.
- La rédaction et la diffusion des Cr de réunion de chantier.
- L'inspection et le contrôle des mesures préventives de sécurité et de santé devant être prises par l'entrepreneur sur le site du projet et, si nécessaire, l'élaboration de directives de sécurité et de santé à l'intention de ce même Entrepreneur (le consultant supervise l'exécution du PGES de l'Entreprise, qui inclut la Gestion Environnementale et Sociale, la Santé et la Sécurité ; y compris toutes mises à jour et révisions). De manière plus générale, le consultant doit s'assurer que la performance ESHS (Environnement/Social/Hygiène/Sécurité) de l'Entrepreneur est en conformité avec les bonnes pratiques internationales et satisfait aux obligations de l'Entrepreneur en ce qui concerne les aspects ESHS
- La réalisation d'un film ou diaporama de l'exécution du projet, à l'aide de photos/vidéos prises depuis le sol et à partir d'un drone.
- Les prises de vues nécessaires à l'illustration de chaque phase des travaux sur chaque site prises à un rythme hebdomadaire à minima et illustrant chaque phase importante du chantier (photos et films, terrestres et par drone)

ii) Assistance au Maître d'ouvrage

- Etablissement et transmission à l'UGP des propositions de paiements de l'entrepreneur en nombre d'exemplaires suffisants.
- Préparation des bordereaux de prix supplémentaires et avenants éventuels.
- Proposition des ordres de services.
- Elaboration des recommandations à l'intention de l'UGP au cours des contestations ou litiges avec l'entrepreneur et pour autant que la contestation ou le litige soit notifié pendant la période couverte par le présent marché.
- Réalisation du suivi environnemental, social, santé et sécurité des travaux.
- Rédaction et la diffusion des Comptes Rendus de réunion de chantier.
- Préparation des rapports mensuels et trimestriels d'avancement des travaux, établis en français suivant un plan transmis par l'UGP au démarrage de la mission.

4.1.2 - Contrôle après exécution des travaux

i. Réceptions

Le Consultant attestera de l'exécution et de l'approbation de la totalité des essais nécessaires à la réception provisoire des travaux y compris les essais sur les matériaux. Il assistera le maître d'ouvrage dans les réceptions provisoires (partielles et totales) et la réception définitive des travaux et assurera la rédaction des procès – verbaux correspondants.

ii. Rapport final du contrôle des travaux

Le Consultant remettra au plus tard un (1) mois après la réception provisoire des travaux un rapport en français qui comprendra :

- La présentation générale du projet (source de financement, Entrepreneurs, conventions, marché, etc.)
- Le bilan financier du marché (travaux, contrôle) et l'historique correspondant (calendrier de réalisation, interruption, évolution des personnes engagées, matériel utilisé).
- La description détaillée de toutes modifications techniques entreprises avec leurs justifications ainsi qu'une présentation exhaustive du projet final.
- L'analyse économique des coûts de réalisation poste par poste, et des coûts des ouvrages types basés sur des mètres représentatifs.
- La présentation et l'interprétation de tous les résultats et enseignements tirés du contrôle pour permettre par la suite au Maître d'ouvrage de définir au mieux les programmes d'entretien et de réhabilitation futurs des installations réalisées.
- La présentation de toutes les photographies nécessaires pour illustrer les différentes étapes de la réalisation du projet.
- La concordance des résultats obtenus avec les spécifications du Cahier des Charges.
- Les raisons éventuelles de leur divergence (carence de l'étude, moyens ou normes inadéquates)
- Les recommandations sur les méthodes de mise en œuvre ou quant à la modification de certaines prescriptions pour l'avenir.
- Le suivi des aspects environnementaux, sociaux, santé et sécurité : Contexte et objectif du suivi environnemental, social, santé et sécurité, activités et canevas du suivi environnemental, social, santé et sécurité, visites d'identification et de mise à niveau, principaux constats et observations, recommandations, etc.

4.1.3 - Besoins en personnel

En plus du chef de Mission qui intervient activement tout le long de la mission, la mission de supervision fera notamment intervenir les experts suivants :

- **Chef de Mission** : *le volume de travail estimé est d'environ 10 homme.mois*
- **L'ingénieur Génie Civil ou Côtier, Adjoint au chef de mission** : *le volume de travail estimé est d'environ 20 homme.mois.*
- **L'ingénieur géotechnicien** : *le volume de travail estimé est d'environ 8 homme.mois*
- **Ingénieur topographe** : *le volume de travail estimé est d'environ 8 homme.mois*
- **L'Environnementaliste** : *le volume de travail estimé est d'environ 6 homme.mois*
- **Les stagiaires**

4.1.4 - Résultats et rapports attendus

- Un rapport mensuel à la fin de chaque mois ;
- Un rapport trimestriel à la fin de chaque trimestre ;
- Un rapport final de contrôle du chantier.

Le nombre de copies de rapports à fournir par le Consultant est donné dans le tableau suivant :

DESIGNATION	VERSION PROVISoire	VERSION DEFINITIVE
Rapport mensuel	Néant	02
Rapport trimestriel	Néant	03
Rapport final de contrôle	03	03

5 - DEROULEMENT DE LA MISSION

L'ingénieur contrôle des travaux sera présent aux Comores durant la totalité des travaux. Il organisera sur le site des réunions hebdomadaires et mensuelles avec l'UGP, et des points quotidiens avec l'entreprise de travaux.

Au minimum un déplacement sur site tous les trois (3) mois sera prévu par le Chef de mission, durant lequel seront prévues la visite du ou des chantiers en cours, et au moins une réunion avec la Maîtrise d'Ouvrage.

Le consultant devra s'atteler tout au long de sa mission à proposer des solutions techniques écologiquement rationnelles et adaptées au contexte ainsi qu'aux possibilités qu'offre le site. Les opérations devraient être réalisées en cohérence et en complémentarité avec les travaux réalisés par le Maître d'Ouvrage.

Le consultant développera une approche écosystémique et s'efforcera de rechercher l'intégration et la coordination avec les projets parallèles en cours ou prévisionnels pouvant viser un objectif commun.

Tous les rapports seront fournis en version papier, selon un nombre d'exemplaire tel que défini au §4.1.4 - . Des versions électroniques seront fournies aussi pour chaque rapport. La version finale des rapports comportera obligatoirement un sommaire exécutif en Français et en Anglais.

Tout au long de la mission, le consultant travaillera étroitement sous la supervision directe de l'UGP et de la Direction Générale de l'Environnement (DGE) qui seront impliquées pleinement dans l'approbation. Les rapports seront transmis à l'UGP (Unité de Coordination du Projet) qui se chargera de sa diffusion et validation. Les commentaires de la Banque Mondiale parviendront par l'entremise de l'UGP.

Le Consultant devra assurer une parfaite continuité dans les prestations qu'il doit fournir et rechercher la meilleure coordination possible entre divers services relatifs à sa mission.

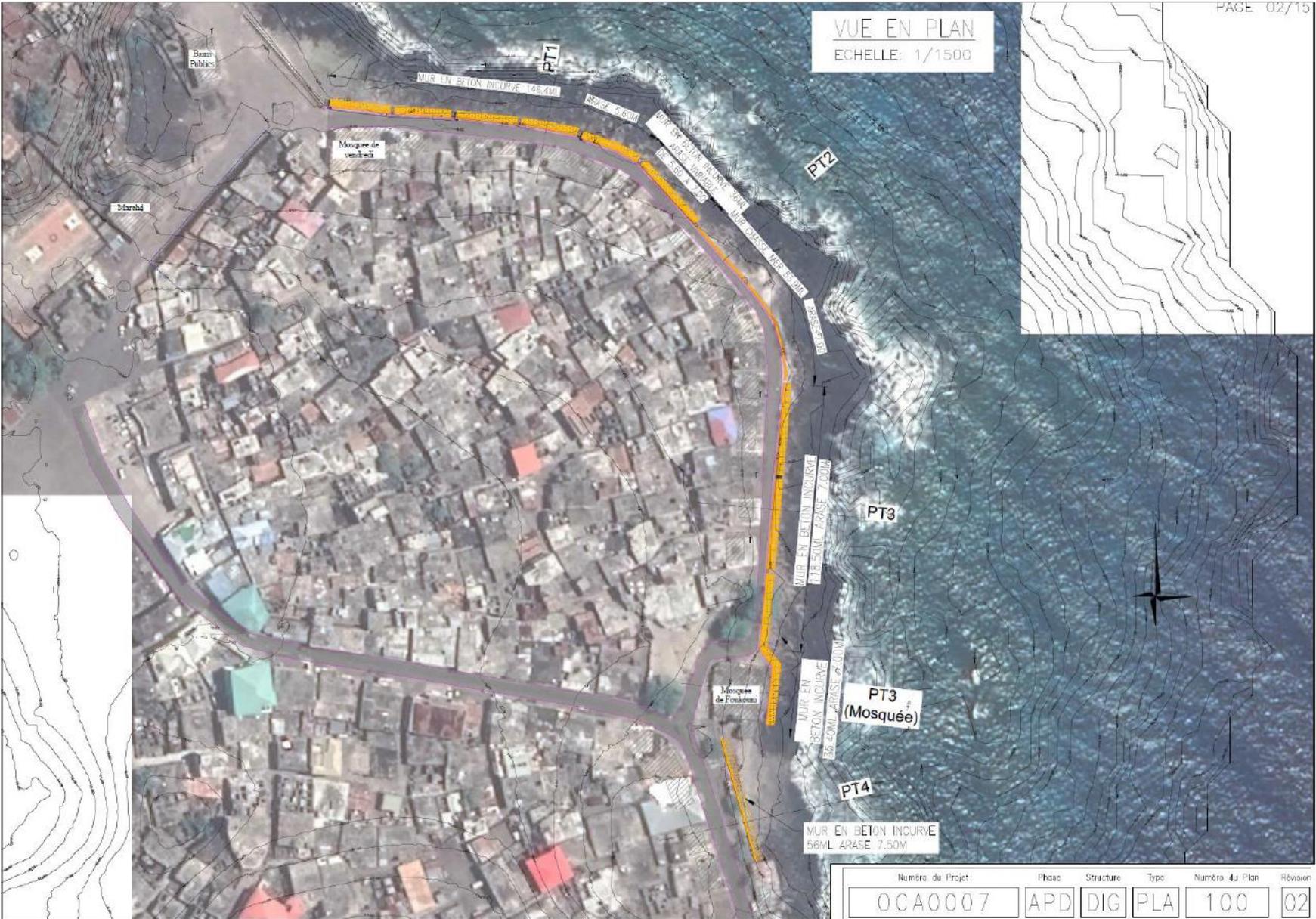
ANNEXE A –**Description détaillée des aménagements****1.1. Type d'ouvrage et implantation**

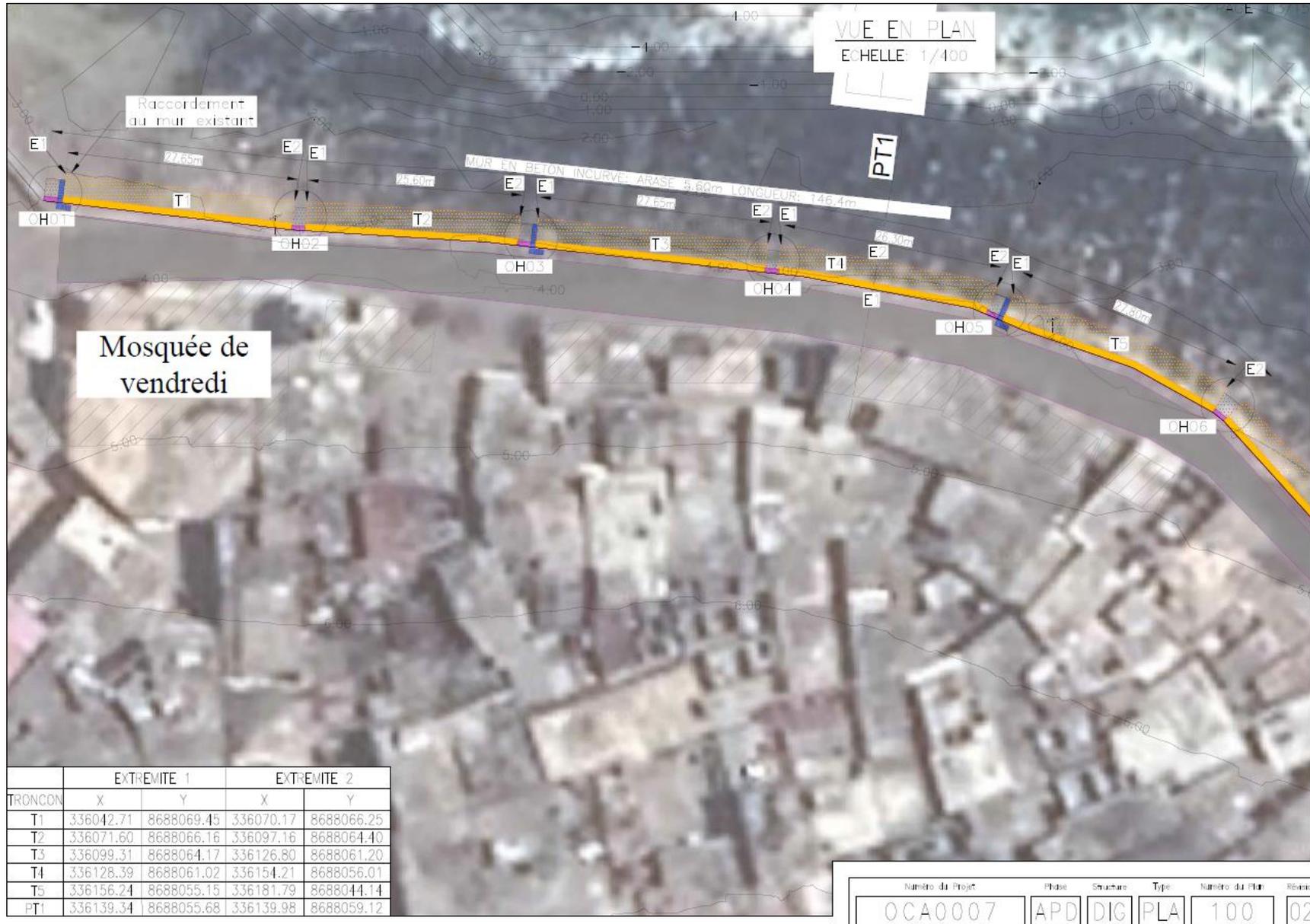
Les aménagements visent principalement à protéger les enjeux sur le littoral de Foubouni avec le niveau de protection le plus haut possible, de manière à réduire le risque de submersion. Tout en restant compatible avec les usages du site, et sans accentuer le risque en cas d'événement extrême.

La solution d'aménagement considérée consiste en un perré béton incurvé, type Galveston. La forme de ce type de perré, permet théoriquement d'assurer plus facilement l'auto-lestage de l'ouvrage. Un parement en maçonnerie de moellons rejointoyés est prévu côté terre / route. Cet ouvrage sera implanté sur les zones basses, représentatives des coupes types PT1, en partie Nord, PT3 en partie Sud du promontoire rocheux, ainsi que PT4 au Sud de la Mosquée Foukouni. L'hypothèse est faite que le mur sera fondé à sa base sur un terrain rocheux de type basaltique.

Sur la zone intermédiaire située en partie centrale et haute du promontoire, la protection consistera en un mur chasse-mer vertical adossé à la route, tel que figuré sur la coupe PT2. Pour cette section particulière, des ancrages dans le socle rocheux permettront de parfaire la stabilité de l'ouvrage vis-à-vis des efforts hydrauliques liés aux vagues.

Les figures suivantes présentent le plan masse et les coupes types de l'aménagement de protection ainsi défini.



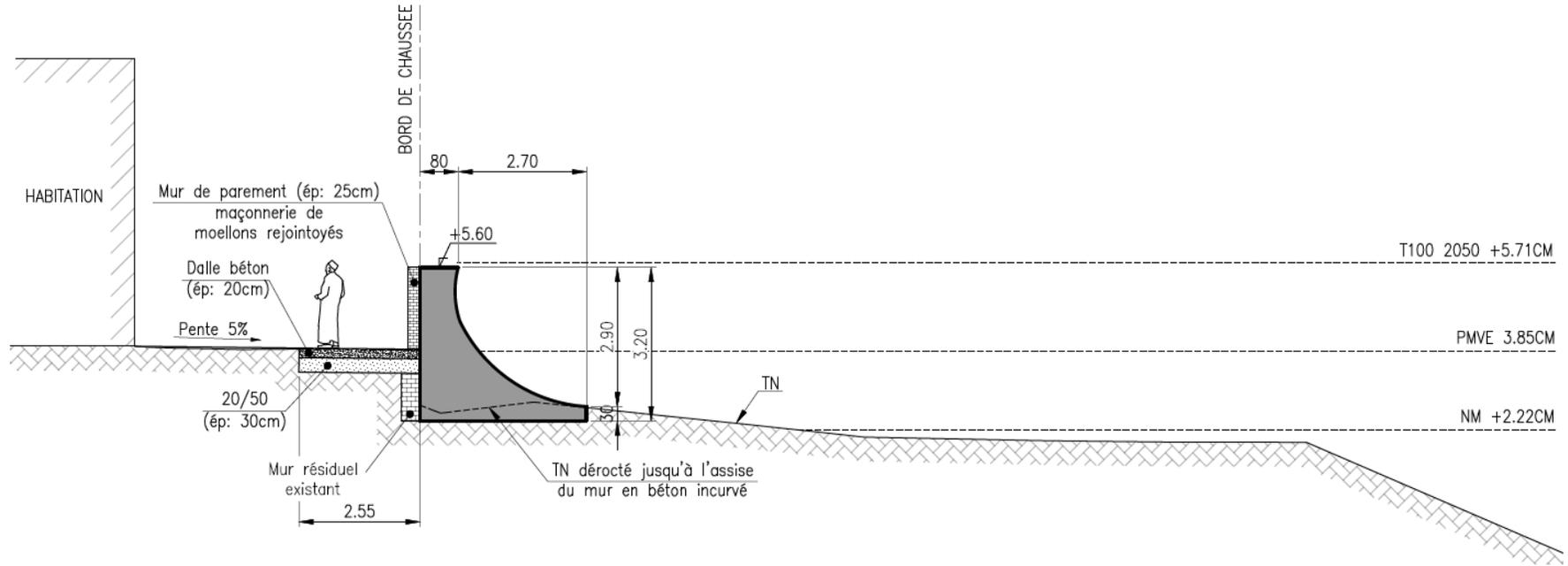




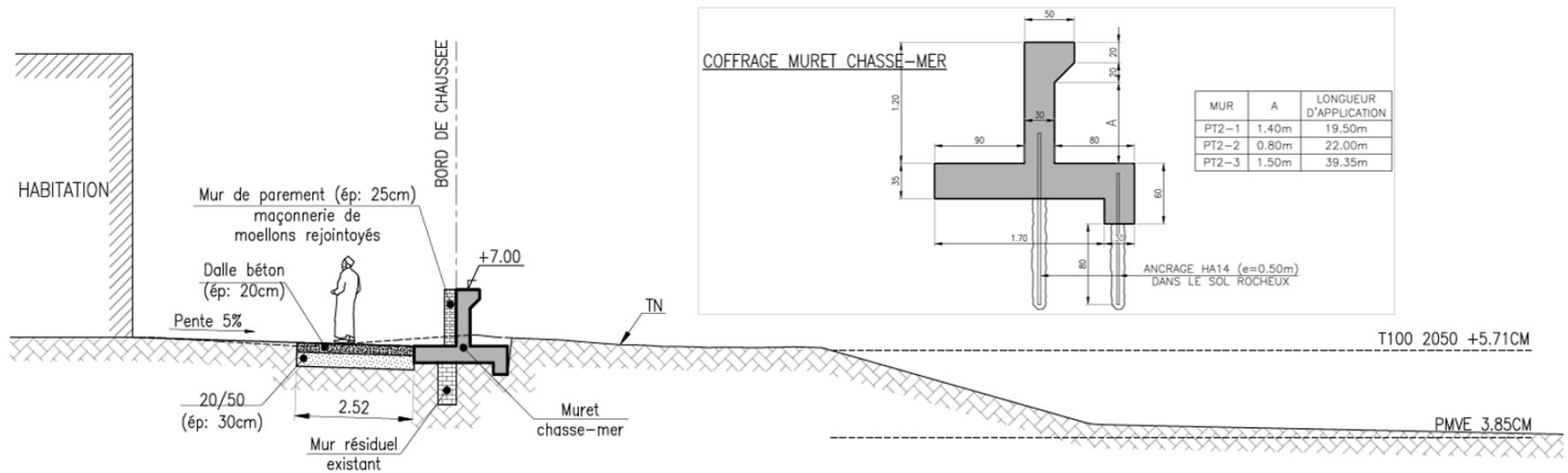




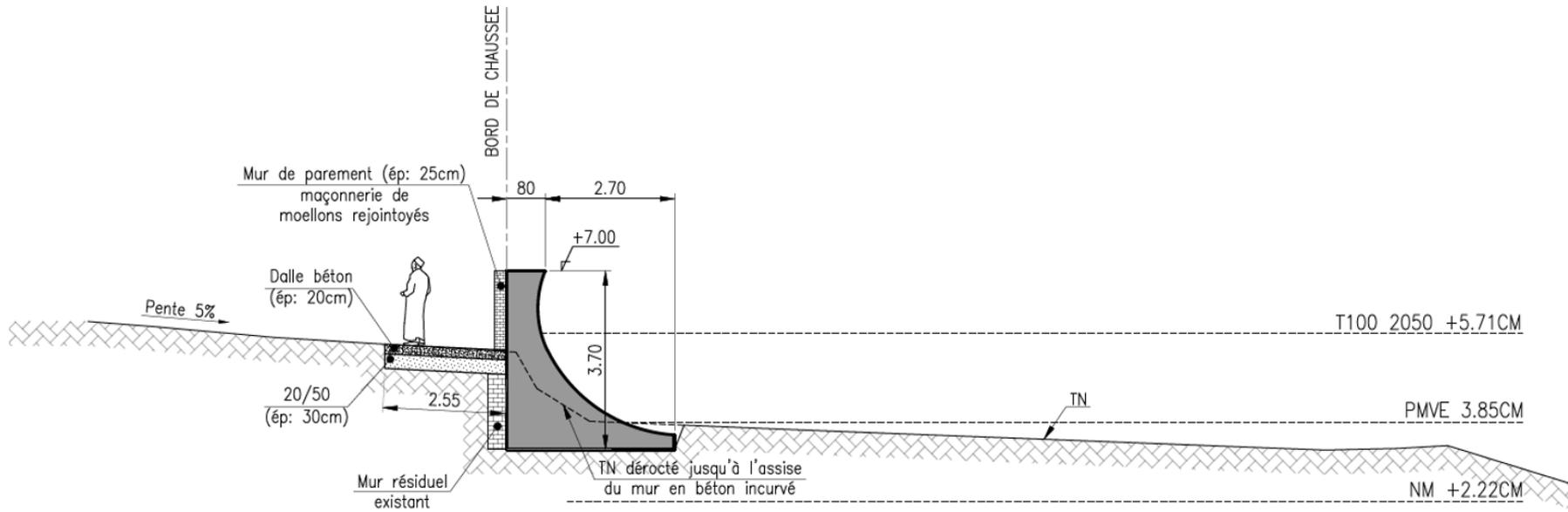




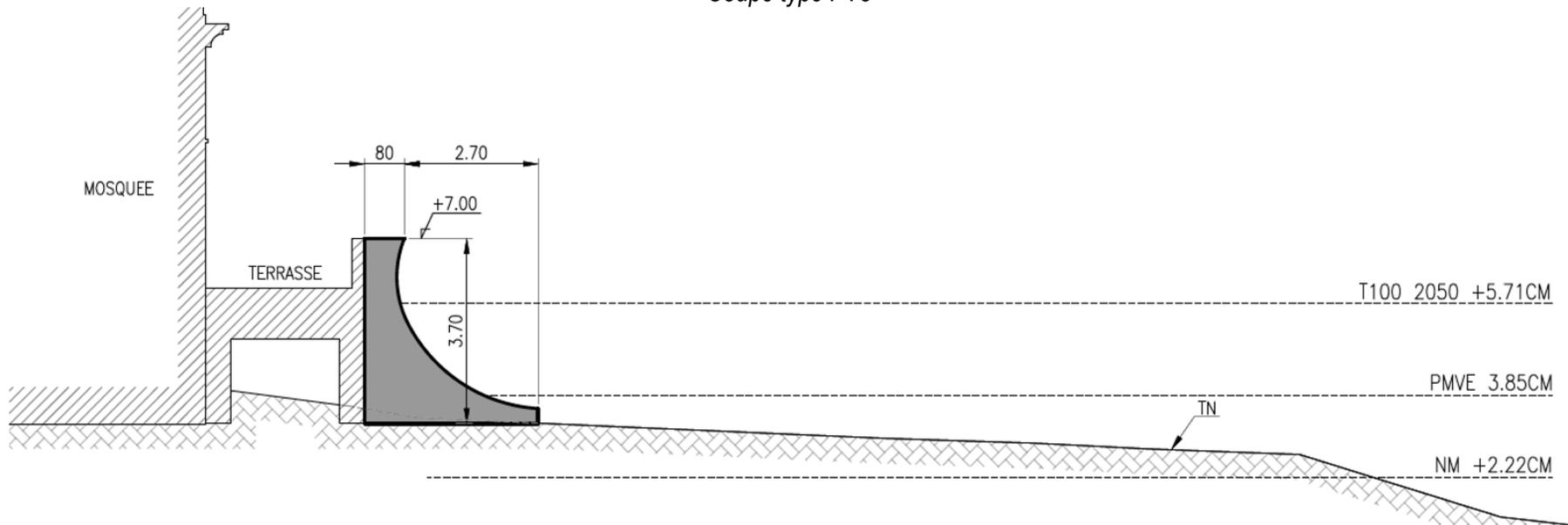
Coupe type PT1



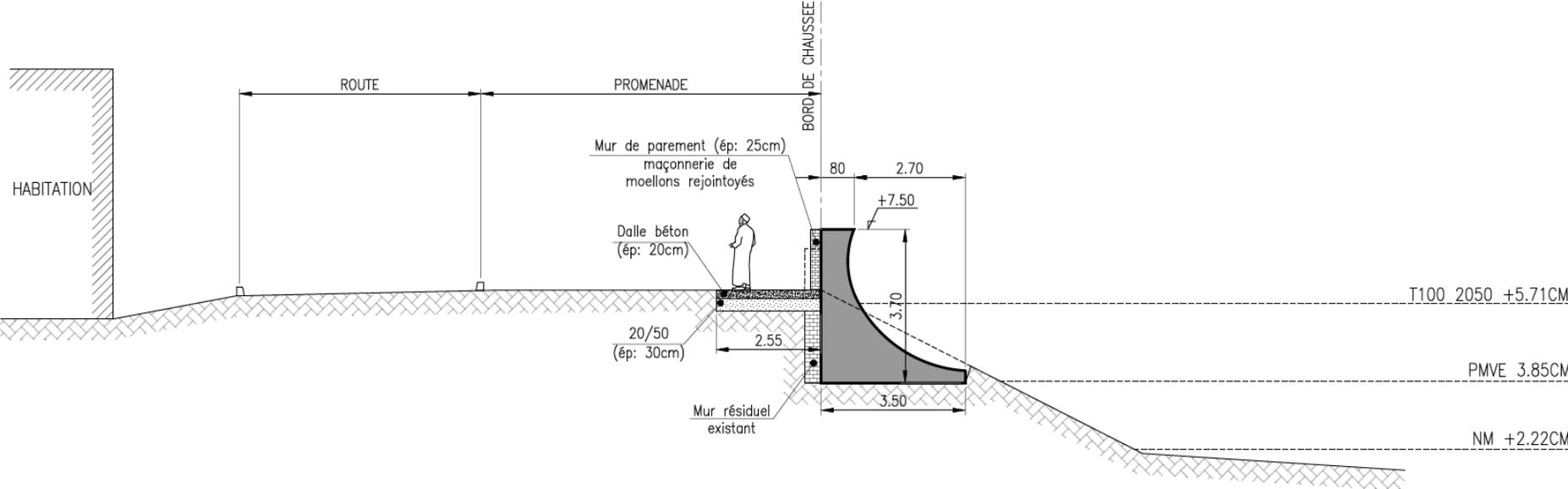
Coupe type PT2



Coupe type PT3



Coupe type PT3 au niveau de la mosquée Sud

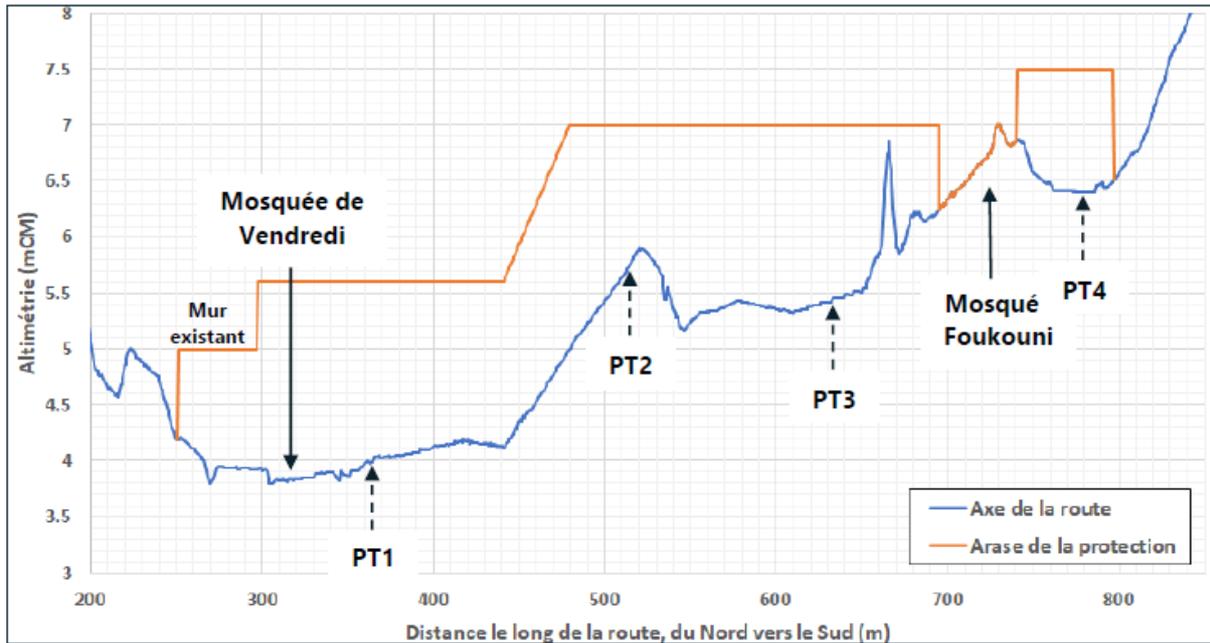


Coupe type PT4

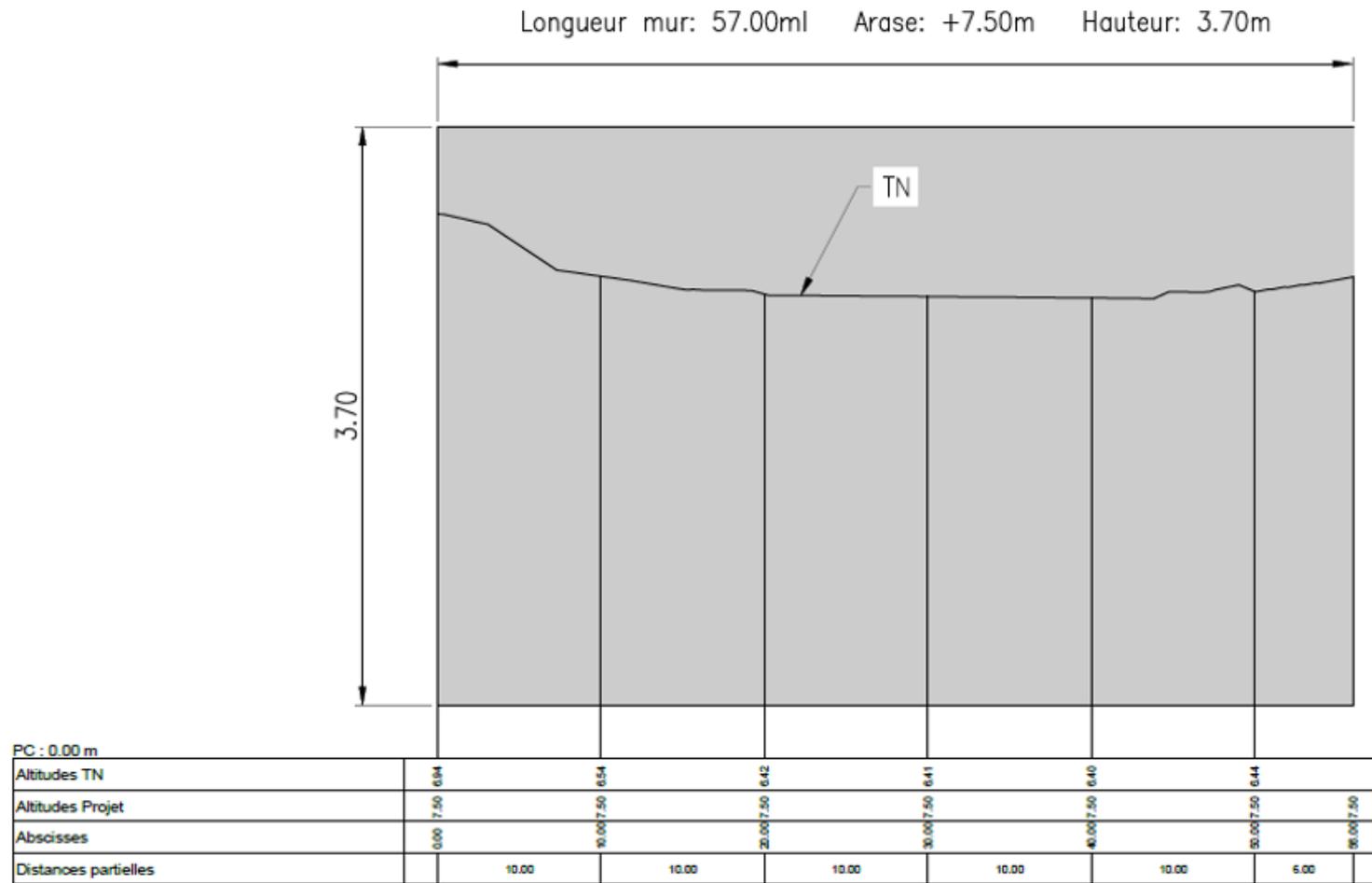
1.2. Arase de l'ouvrage

L'ouvrage de protection sera arasé de la manière suivante :

- Profil constant arasé à +5.60m CM à partir du mur béton existant au Nord de la Mosquée du Vendredi, sur un linéaire d'environ 141m ;
- Profil croissant de +5.60 à +7.00m CM sur un linéaire d'environ 38m ;
- Profil constant arasé à +7.00m CM sur un linéaire d'environ 235m, jusqu'à la Mosquée Foukouni ;
- Profil constant arasé à +7.50m CM sur un linéaire d'environ 56m, au Sud de la Mosquée.



Profil en long de l'arasement de la protection à mettre en œuvre



Profil en long du mur Sud vue depuis la terre

1.3. Exutoires et accès au littoral

L'ouvrage de protection étant susceptible d'être franchi par la mer, un renforcement de la route est prévu à l'arrière de la protection. En l'absence d'informations relatives à la position d'éventuels réseaux, il n'est pas envisagé de travaux de terrassements et renforcement significatifs de la route.

Des zones de ressuyage seront aménagées dans la protection pour drainer et faciliter l'évacuation des volumes franchis en cas de tempête exceptionnelle, ainsi que des eaux de ruissellement en cas de pluie.

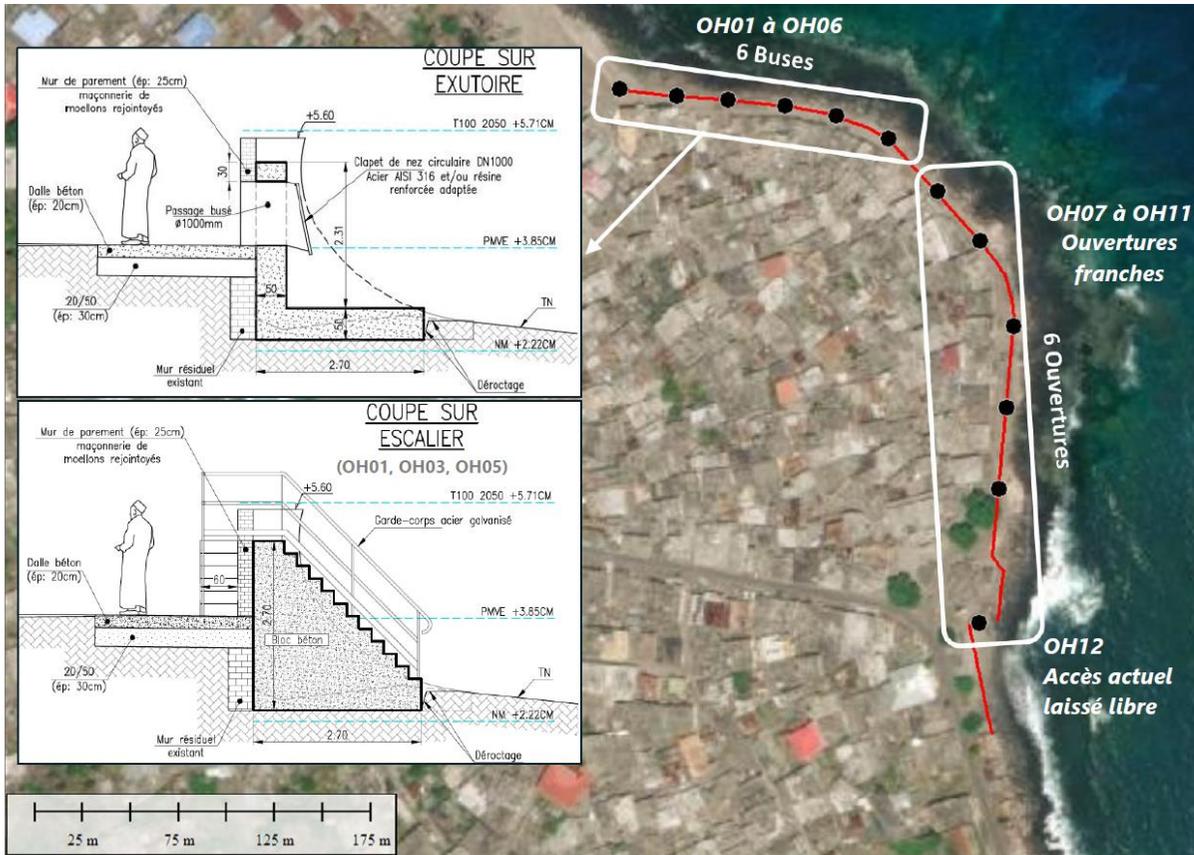
Le projet prévoit ainsi un total de 12 ouvrages et/ou zones de drainage sur le linéaire d'intervention, soit en moyenne tous les 40m environ, avec :

- En partie Nord de la zone aménagée, très basse en altitude : 6 passages busés circulaires de 1m de diamètre nominal, équipés de clapet mural à battant incliné, afin d'éviter les incursions marines en périodes de grandes marées et coups de mer usuels (ouvrages notés OH01 à OH06). Un exutoire sur deux est équipé par ailleurs d'un escalier en béton non armé, avec garde-corps en acier galvanisé permettant de franchir la protection et d'accéder à l'estran (cas des OH01, OH03 et OH05) ;
- En partie Sud du promontoire : 5 ouvertures franches de 1.5m de large aménagées dans la protection linéaire au Nord de la mosquée de Foukouni (notés OH07 à OH11), et un passage de 5m de large laissé libre, en l'état, entre la mosquée de Foukouni et le tronçon le plus au Sud. Le cas échéant, des escaliers en béton non armé sont prévus le long du promontoire, entre la route et l'estran afin de faciliter l'accès au littoral (cas des OH07, OH10, OH11).

Les clapets de nez prévus pour équiper les ouvrages OH01 à OH06 seront prévus en acier AISI 316 pour les éléments métalliques et/ou en résine renforcée adaptée, par exemple en résine polyester isophtalique renforcée de fibres de verre, gel coat isophtalique et joint EPDM.

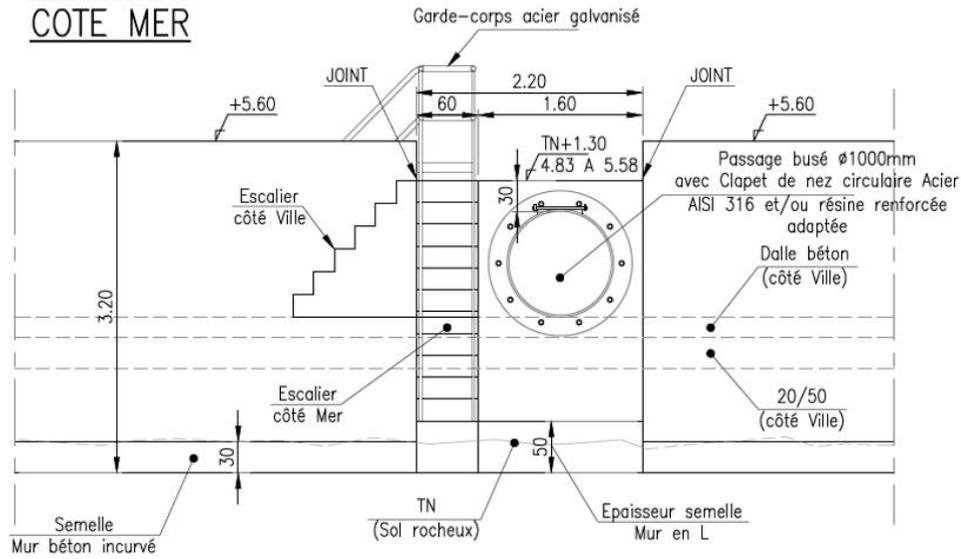
L'emplacement des ouvrages de drainage est indiqué sur les vues en plan présentées en §1.1, et rappelées de manière synthétique dans la figure ci-dessous.

Les travaux non compris dans le cadre de ce marché concernent le terrassement de la route entre le mur de protection et le bâti, de manière à favoriser l'écoulement des eaux en direction du mur et de la mer avec une pente de 5%, et d'éviter les zones d'accumulation d'eau. Cette disposition sera à mettre en œuvre lors de la remise en état du site, après la réalisation du mur de protection, avec un revêtement bitume. Le présent marché n'inclut pas ces travaux.

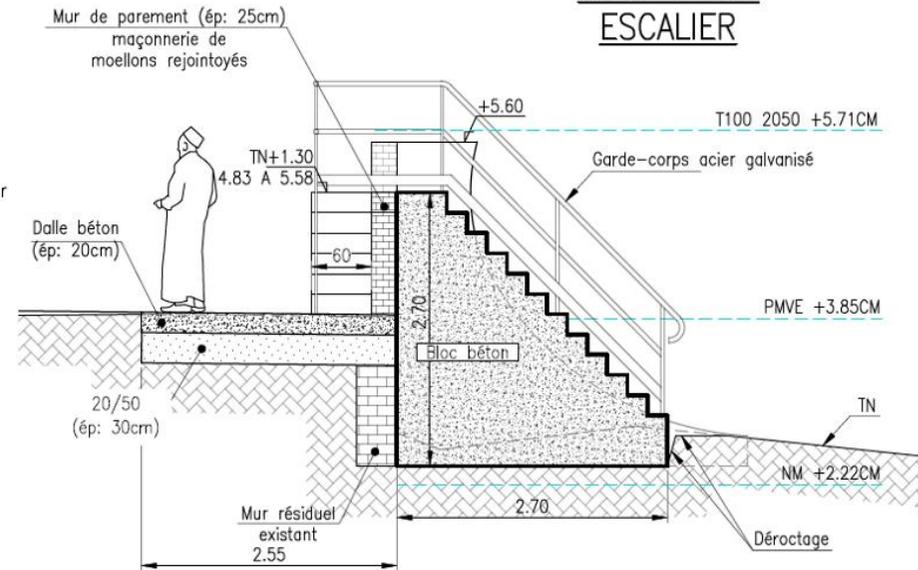


DETAIL SUR ESCALIER
SUR COUPE TYPE 1

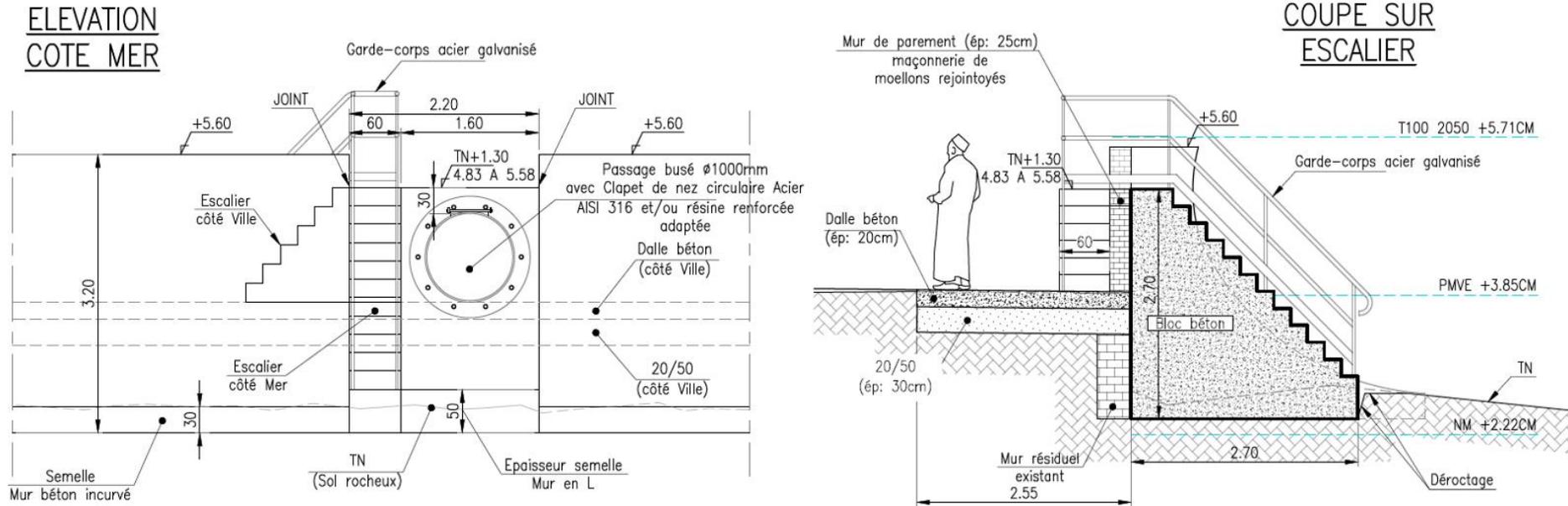
ELEVATION
COTE MER



COUPE SUR
ESCALIER



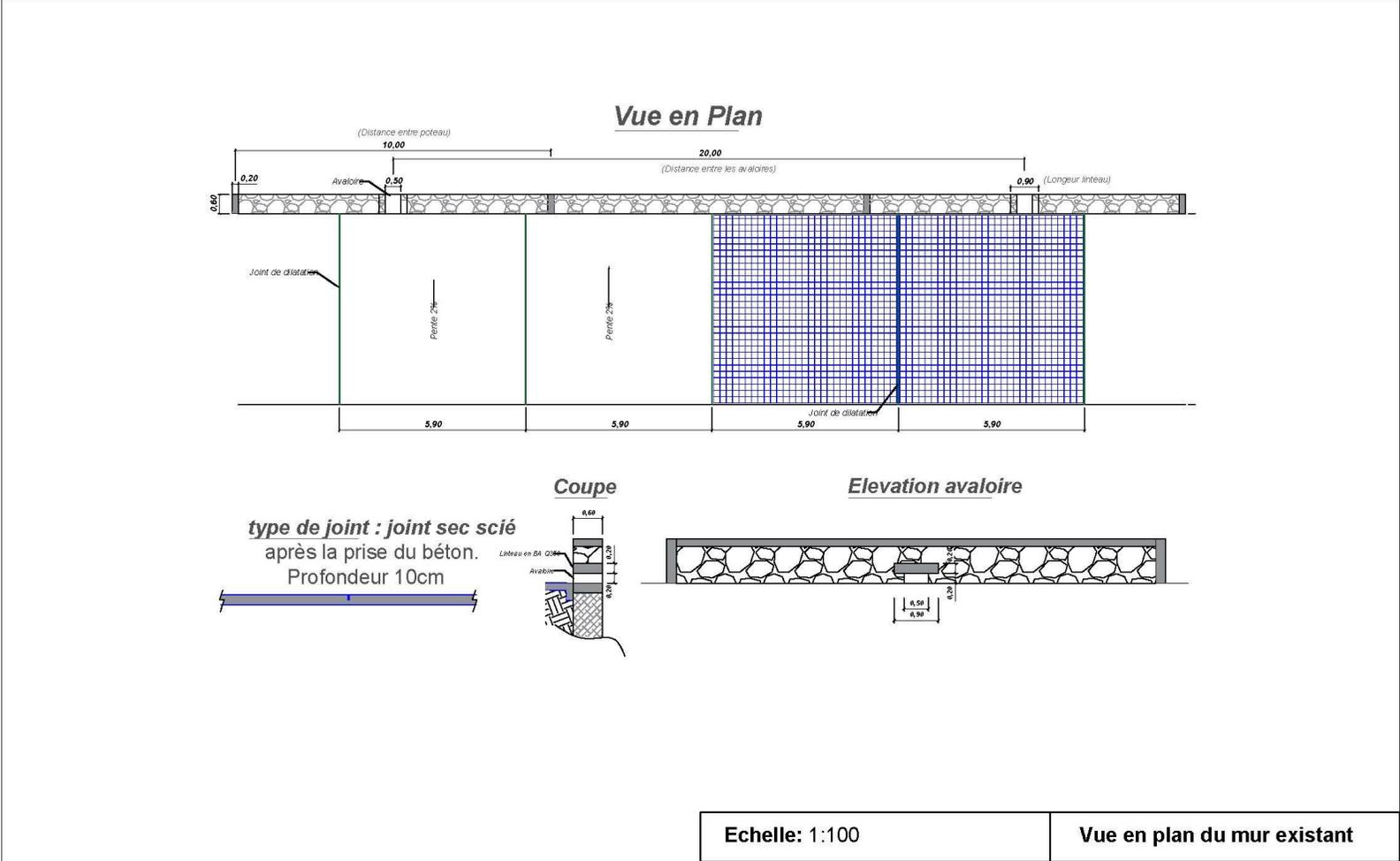
DETAIL SUR ESCALIER
SUR COUPE TYPE 1

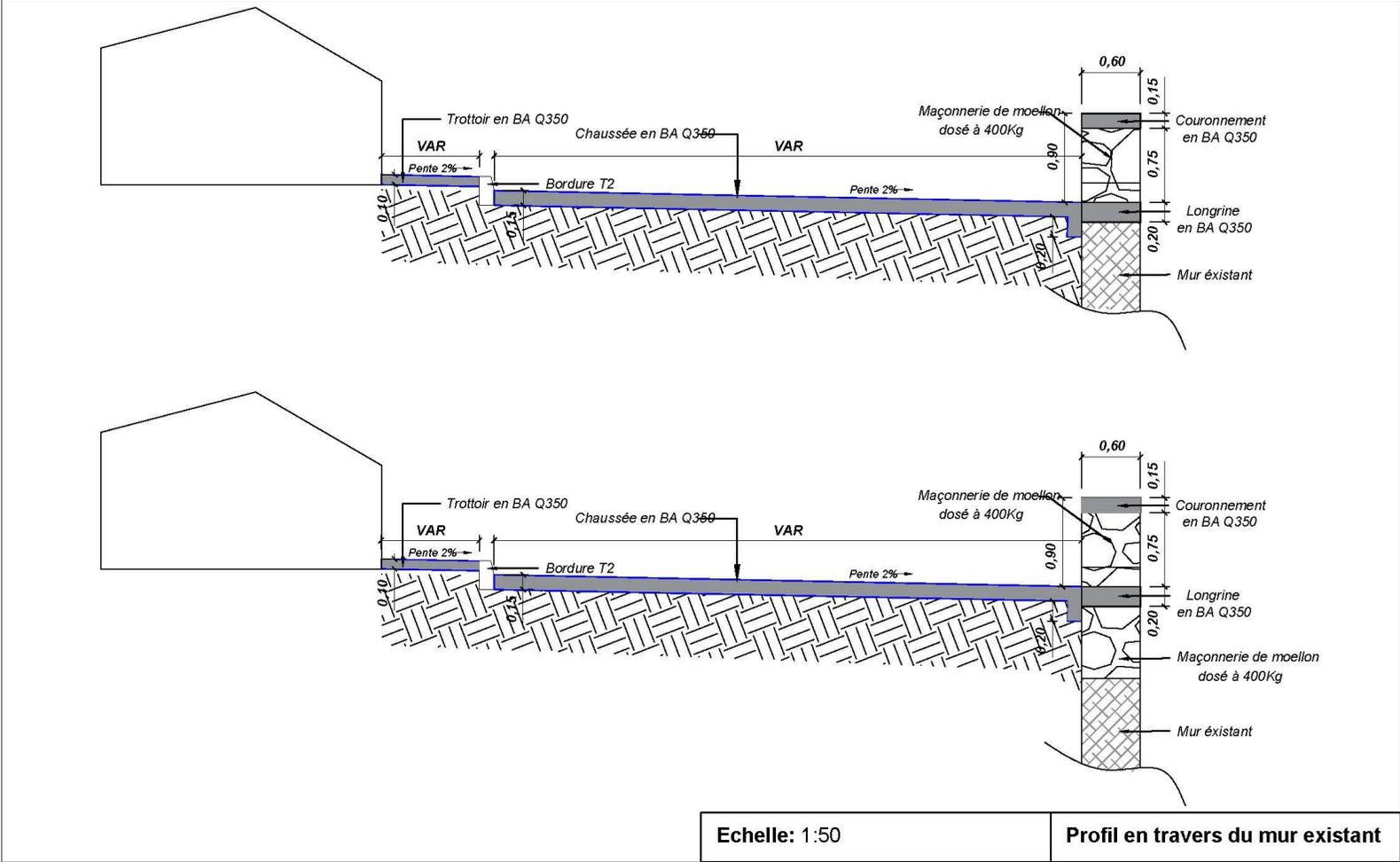


1.4. Travaux récents mur existant

Des travaux de réfection du front de mer ont été réalisés récemment, après finalisation de l'étude APD. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre des travaux de réfection de la route de Foubouni et à la création d'une protection légère côté mer. Ce mur est à démonter et les matériaux revalorisés dans le cadre du projet.







Description détaillée des travaux du site de Ouani Aéroport

1. Description détaillée des aménagements

1.1. Types d'ouvrages et implantations

Les aménagements proposés sur le site de la zone aéroport de Ouani consistent à :

- **Mettre en place de épis en bois en haut estran :**
 - Objectif : limiter le recul du trait de côte au droit de la piste de l'aéroport ;
 - Total de 3 épis de longueur 30 à 50 mètres et de 70 mètres d'espacement.
- **Rechargement de la plage en galets :**
 - Objectif : saturer les épis pour éviter une réduction significative du transit littoral ;
 - Extension du haut d'estran de 10m vers le large et rechargement jusque +3.0mCM (bas de la plage).
- **Mise en place d'un cordon de galets en haut d'estran :**
 - Objectif : limiter le recul en cas d'érosion événementielle extrême et réduire l'emprise de submersion marine sur la piste d'aéroport ;
 - Cote d'arase à +6.20mCM, largeur de 4 mètres, longueur de 255 mètres, pente de talus 2H/1V.



Synthèse des aménagements prévus à Ouani Aéroport

1.2. Mise en place de 3 épis en bois favorisant le maintien de la plage

Trois épis transversaux en bois, de typologie adaptée aux plages de galets seront mis en œuvre sur ce site. Ces ouvrages permettront de limiter les mouvements de sable sur le haut de plage, et ainsi fixer la plage au-devant de la piste de l'aéroport.

Les caractéristiques détaillées des épis sont :

- **Longueur et implantation des épis :**
 - Longueur : 30, 40 et 50 m, respectivement de l'Est à l'Ouest
 - Espacement entre épis : environ 70 mètres
 - Cote d'arase : variable, initialement 1 m environ au-dessus du TN
 - Les épis sont enracinés au-devant d'un cordon de galets au niveau de la limite de végétation, estimée à environ +5.40 mCM
- **Pieux :**
 - File centrale : pieux de diamètre 230mm, longueur 2.5m, fichés de 1.5m min. dans le TN initial, et arasés à 1.0m au-dessus, espacés de 2m. Aucune traverse.
 - Renforts latéraux : symétriques et espacés de 4m en long, constitués de pieux de diamètre 230mm, longueur 2.5m, fichés de 1.5m min. dans le TN initial, et arasés à 1.0m au-dessus, placés à environ 2.5m de la file centrale de pieux, reliés au pieu central par un pieu similaire.
 - Nombre total de pieux : 191
- **Planches reliant les pieux de la file centrale :**
 - Planches de 75mm d'épaisseur environ, longueur de 2m, hauteur 250mm
 - 5 planches en verticale, idéalement fixées en quinconce aux pieux, ou côté Nord-Est
 - Nombre total de planches : 300
- **Fixations estimées entre 225 et 375 fixations par épi, soit environ 900 fixations (acier inox).**

1.3. Rechargement de la plage et création d'un cordon de galets

A. Rechargement de la plage au niveau des épis

Pour diminuer l'impact des épis bois sur l'embouchure adjacente, au Sud de l'aéroport – l'interception du transit par les épis seuls induirait un déficit sédimentaire en aval –, les épis seront saturés à l'aide d'un rechargement en matériaux similaires à celui de la plage (galets), sinon compatibles en termes de granulométrie (issus p.ex. du concassage de matériaux de carrière).

Les caractéristiques principales sont :

- Niveau haut de plage : entre +5mCM et +6 mCM ;
- Berme de haut de plage étendue de 10 m vers le large à partir de la cote +5.40 mCM ;
- Pente de plage environ 6% jusqu'à l'isobathe +3 mCM marquant le raccordement transversal au TN ;
- Raccordement latéral au TN existant fait de part et d'autre du 1er et 3ème épi ;
- Volume de rechargement de la plage : env. 3 800 m³.

B. Création d'un cordon de galets en haut de plage

En complément, un cordon de galets est prévu en haut d'estran, de manière à limiter les intrusions marines en extrémité de la piste d'aéroport.

Ses caractéristiques principales sont :

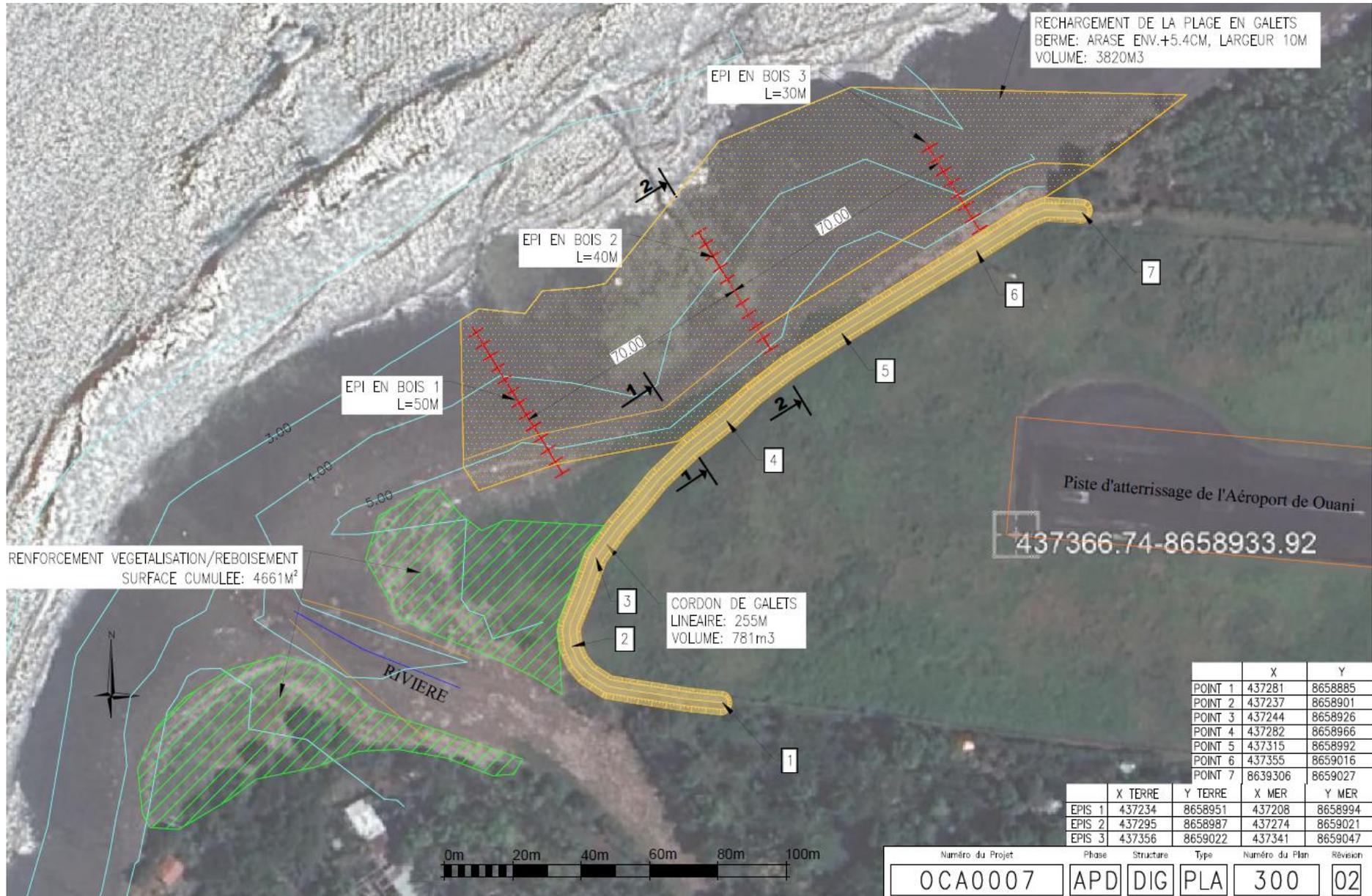
- Longueur : 255 m
- Cote d'arase : +6.20 mCM

- Largeur en crête : 4 m
- Pente de talus : 2H/1V
- Volume de galets : env. 780 m³

1.4. Renforcement des actions de re-végétalisation des berges de la rivière de Patsy

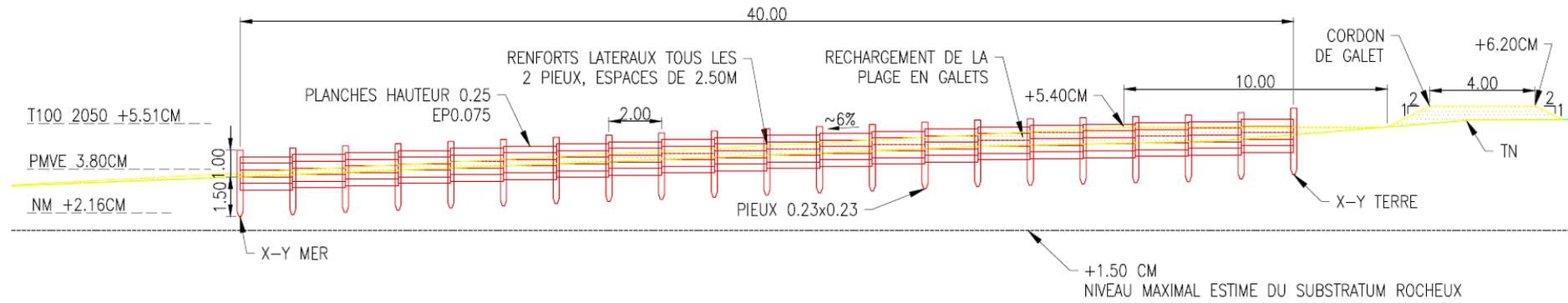
En complément de la fixation de la plage de galets par les épis, une végétalisation du haut d'estran et des berges du cours d'eau immédiatement au Sud de l'aéroport (rivière de Patsy) est encouragée. La surface à considérer est d'environ 4700 m². Il est envisageable de poursuivre la re-végétalisation déjà en cours par les habitants, via la plantation de mangroves, naturellement présentes sur le site, et de Mwaro. Cette action pourrait ainsi être portée localement par les habitants et usagers.

Aucun cheminement piéton ou voie d'accès n'est prévue, car cette zone n'est pas un lieu de passage particulier, notamment du fait de la présence de la piste d'aéroport. Aucune mise en défens n'est non plus prévue, du fait de l'absence de passage soutenu. Les ganivelles ne sont pas nécessaires considérant la nature des sédiments.



COUPE 2-2

ECHELLE : 1/150



Description détaillée des travaux du site de Djoiezi

1. Description détaillée des aménagements

1.1. Types d'ouvrages et implantations

Les aménagements proposés visent principalement à protéger de manière provisoire les habitations les plus exposées, le temps d'organiser le recul des enjeux, en limitant le recul du trait de côte et l'impact des vagues sur le risque de ruine des habitations situées en 1ère ligne. Le tableau et la figure ci-dessous présentent une synthèse des aménagements par secteur (Nord-Ouest, Centre urbain, Est).



Synthèse des aménagements prévus à Djoiezi

Secteur	Solutions	Objectifs	Particularités
Nord-Ouest	Renforcement du haut de plage via solutions douces fondées sur la nature	Réduction de l'érosion, stabilisation du trait de côte, valorisation du haut de plage (tourisme, loisirs)	Mise en place de ganivelles et guidage du public Végétalisation : Hibiscus/Mwaro, ficus (elasticus/pendanus)/Mkorooa), plantes rampantes. Création d'un cheminement piéton et accès à la plage
Centre urbain	Déconstruction de la digue existante	Suppression de cet ouvrage interférant de manière négative avec la dynamique littorale	/
	Mise en place d'enrochements pour les fondations des maisons en 1 ^{ère} ligne	Atténuation de l'action de la houle sur les habitations	Mesure transitoire. Talus discontinu au droit des rues pour ne pas entraver le passage des usagers et l'évacuation des eaux de ruissellement : linéaire cumulé 340m.
	Mise en place d'épis en bois en haut d'estran	Réduire le transit sédimentaire Fixer la plage de sable sur l'estran	Nombre : 7 Longueur : 26m (20m pour les épis aux extrémités) Espacement entre les épis : 60m
Est	Enrochements de protection du soutènement de la route littorale	Améliorer le maintien/stabilité de la route vis-à-vis des événements de tempête	Enrochements 300-1000 kg Sous-couche 60-300kg Filtre/géotextile Linéaire 320m

1.2. Secteur Nord-Ouest

Il est prévu de renforcer la dune de haut de plage via des solutions fondées sur la nature de génie écologique des dunes. L'objectif est d'une part de réduire l'aléa érosion via la restauration du système dune-plage, d'autre part de maintenir et conforter les espaces tampon végétalisés, aujourd'hui couverts d'ipomée et autre végétation rase, essentiels pour la tenue des sols et le ralentissement de la submersion marine.

En vue de consolider et favoriser la croissance de la dune de haut de plage, les aménagements envisagés consistent en :

- La mise en place de 2 rangées de ganivelles : clôtures simples, peu hautes, jouant le rôle de brise-vent et d'aide au maintien du sable et piégeage de sable nouveau transporté par le vent depuis la plage ;
- Végétalisation avec des boutures d'hibiscus/mwaro, de ficus elastica ou pandanus qui seront plantées sur tout un large espace sur le haut de plage ; et mise en place de plantes rampantes de type ipomoea entre les deux rangées de ganivelles ;
- Aménagement d'un cheminement piéton à l'arrière, avec accès guidé à la plage en son centre ;
- Pose de trois panneaux d'information à destination du public, à visée pédagogique, situés de part et d'autre de l'accès central, et en extrémité Sud-Est.

Une mise en défens à l'aide d'une clôture devra être réalisée pour protéger la zone aménagée du piétinement, le temps nécessaire à la végétation de se constituer et se densifier. Elle permettra de limiter les usages et la circulation sur cette zone.

Un linéaire de côte d'environ 200m est concerné, pour une surface à aménager et végétaliser d'environ 4700 m². Une attention particulière devra être apportée à la gestion des cheminements trans-cordon ; un passage d'une largeur de 10m sera aménagé à travers cette zone protégée. Il n'est pas prévu de revêtement ou aménagement particulier pour le cheminement trans-cordon ; le passage se fera à même le sable dunaire.

A. Barrière / clôture de protection – Guidage du public

La barrière envisagée pour délimiter la zone à protéger fait environ 1 m de haut une fois posée. Elle est constituée de piquets en bois durs de 1,6 m de haut, de section de 10 cm, taillés en pointe, et enfoncés de 60 cm dans le sable. Ces piquets peuvent être faits de bois de Filao, de Badamier, ou de Manguier (voir de Teck, Adabou, Azyme, Mourmouroni). Les piquets sont espacés de 1.5m à 2m selon le matériau reliant les piquets entre eux ; deux techniques sont possibles :

- Pour la première, les piquets sont espacés de 2m et reliés par un fil métallique lisse de palissage ;
- Pour la seconde, les piquets sont espacés de 1.5m et reliés par des lisses en bois vissés/cloués qui peuvent servir aussi de main courante.

Afin de limiter l'utilisation de bois, une solution avec fil métallique est retenue, car l'objectif est seulement de marquer une délimitation de la zone interdite pour le cheminement des piétons.

Les piquets sont plantés dans le sol (sable) par creusement de trous à la tarière thermique (ou électrique) dans des trous d'une quarantaine de centimètres, puis battus à la grande masse à main jusqu'à l'enfoncement de 60 cm.

Ce guidage est retenu pour le périmètre de la zone, ainsi que pour l'accès aménagé la traversant en son centre. Un linéaire total de 496m est considéré.

Enfin, l'autre utilisation des pieux en bois sera pour les piquets des barrières de mise en défens, selon le principe de barrière fil lisse (ou à défaut, barrière avec grillage).

B. Pièges à sable – Ganivelles

Le dispositif sera réalisé à l'aide de 2 rangées longitudinales espacées de 2m, intersectées par une autre rangée perpendiculaire tous les 8m afin de former des casiers rectangulaires (quadrillage de 2m x 8m). La barrière est tenue à l'aide de poteaux de bois de Filao de 1.8m de haut, fichés de 0.8m dans le sable, reliés par des lattes en bois, ou autres matériaux de réutilisation (mais résistants aux intempéries), placées verticalement et fixées les unes aux autres. Une perméabilité de 60% environ sera recherchée pour ce type de clôture, avec p.ex. des lattes de 4cm de diamètre ou largeur, espacées de 6cm, et fichées de 10cm dans le sable.

Un linéaire total de 446m est considéré. Des essences locales seront privilégiées pour la mise en œuvre de ce dispositif.

C. Végétalisation

La végétalisation de l'espace entre les barrières brise-vent de type ganivelles est réalisée grâce à l'ipomée (*Ipomoea pes-caprae*) qui a un fort pouvoir d'envahissement et de couverture rapide du sol. Cette espèce sera plantée avec une bouture tous les 60 cm.

Un renforcement de la végétalisation est prévu à l'arrière des ganivelles avec des boutures d'hibiscus/mwaro (*Hibiscus tiliaceus*), de *Thespesia populnea*, de Mkoroa (*Calophyllum inophyllum*), de Badamier (*Terminalia catapa*), ou bien de *Ficus Elastica* ou *Pendanus*.

Des ipomées seront aussi plantées sur l'espace arboré que l'on souhaite édifier en arrière. Ces ipomées seront plantées de manière moins dense que dans l'espace entre les ganivelles, avec un pied planté tous les mètres. Cependant, l'ipomée ne doit pas rentrer en compétition avec les jeunes arbres, c'est pourquoi nous conseillons de planter un Mwaro (ou autre arbre évoqué) tous les 3 mètres, séparé par deux pieds d'ipomée.

Une surface de végétalisation d'environ 4900m² est considérée. Sur cette surface sont prévus :

- Nombre de boutures d'ipomées : environ 1100 pour la zone entre les ganivelles, et environ 4200 sur le cordon végétalisé avec des arbres (plus en arrière, côté terre).
- Nombre d'arbres : environ 500

1.3 Secteur Centre urbain

A. Démantèlement de la digue existante

La digue de protection existante, d'un linéaire proche de 260m construite sur l'estran en zone active, sera préalablement déconstruite. Les matériaux seront mis en stock pour les besoins de la ville.

B. Mise en œuvre de talus en enrochement provisoires au pied des maisons de 1ère ligne

La protection est discontinue, avec des enrochements prévus au-devant des maisons seulement, afin de ne pas perturber le ressuyage des eaux de ruissellement, et de garantir le maintien des accès actuels à la plage (dans l'axe des rues) pour la population et les activités économiques et de loisir.

Les caractéristiques principales des talus en enrochement sont les suivantes :

- Longueur cumulée de talus en enrochement : environ 330 m
- Cote d'arase de l'ouvrage : variable selon le TN, entre +5.00mCM et +6.10mCM
- Largeur en crête : 1.86m (3Dn50)
- Cote en pied (sous le niveau de la plage) : variable, entre +3.00mCM et +4.10 mCM

- Talus en enrochements 0.3-1 t, de pente 3H/1V
- Butée de pied : épaisseur 0.62m (1Dn50), largeur 1.86m (3Dn50).

Il est important de noter que les talus de protection en enrochements sont prévus de se positionner « contre » les fondations des habitations. Dans ce cadre, il est important que les protections soient réglées / adaptées à chaque îlot à protéger au moment des travaux, en veillant lors de la mise en œuvre à ce que :

- La revanche de crête ne dépasse pas l'élévation du rez-de-chaussée des maisons, ou dans le cas contraire ne pas gêner l'ouverture ou la porte d'accès à la maison lorsqu'elle donne sur la plage ; le cas échéant, un ensouillage partiel de la protection est à prévoir afin de maintenir les épaisseurs d'enrochement prévues.
- Les blocs soient le moins possible en appui sur les murs de fondation ; un petit espace sera idéalement maintenu, dans la mesure du possible entre le talus et le mur de l'habitation. Dans le cas où le mur de la maison se situe en retrait d'1m ou plus de la ligne de crête du talus, pour un tronçon donné, le talus est complété à l'arrière par des enrochements similaires posés avec une pente 3H/2V.
- La construction devra se faire avec grande précaution pour ne pas détériorer les maisons.

C. Mise en œuvre d'épis en bois favorisant le maintien de la plage

Des épis transversaux en bois (7) viendront compléter le dispositif avec pour objectif de stabiliser le trait de côte en limitant les mouvements de sable sur le haut de plage, et ainsi fixer la plage au-devant des enrochements. Ces épis présentent une typologie adaptée aux plages de sable et seront idéalement constitués de matériaux locaux.

Les caractéristiques détaillées des épis sont :

- Longueur et implantation des épis :
 - Longueur de 20m pour le 1er et dernier épi, 26m pour les 5 autres épis.
 - Espacement entre épis : environ 60 mètres
 - Epis situés en continuité des talus en enrochements afin de ne pas entraver la libre circulation des personnes et biens depuis le centre-ville.
 - Les épis sont par ailleurs enracinés au-devant des enrochements, en garantissant un passage possible pour les piétons et le déplacement des embarcations de pêche / kwassa. Ce passage sera possible a minima sur la largeur de la butée de pied des talus, d'environ 1.9m.
- Pieux :
 - File centrale : pieux de diamètre 230mm, longueur 2.5m, fichés de 1.5m min. dans le TN initial, et arasés à 1.0m au-dessus, espacés de 2m. Aucune traverse.
 - Renforts latéraux : symétriques et espacés de 4m en long, constitués de pieux de diamètre 230mm, longueur 2.5m, fichés de 1.5m min. dans le TN initial, et arasés à 1.0m au-dessus, placés à environ 2.5m de la file centrale de pieux, reliés au pieu central par un pieu similaire.
 - Nombre total de pieux : 280
- Planches reliant les pieux de la file centrale :
 - planches de 75mm d'épaisseur environ, longueur de 2m, hauteur 250mm
 - 5 planches en verticale, idéalement fixées en quinconce aux pieux, ou côté Nord-Ouest
 - Nombre total de planches : 425
- Fixations estimées entre 150 et 200 fixations par épi, soit environ 1300 fixations (acier inox).

1.4 Secteur Est

Sur le secteur Est, au droit de la route, un talus en enrochements sera mis en place. L'objectif est de conforter la route structurante en particulier par rapport à l'action des vagues et limiter le risque d'affouillement en pied.

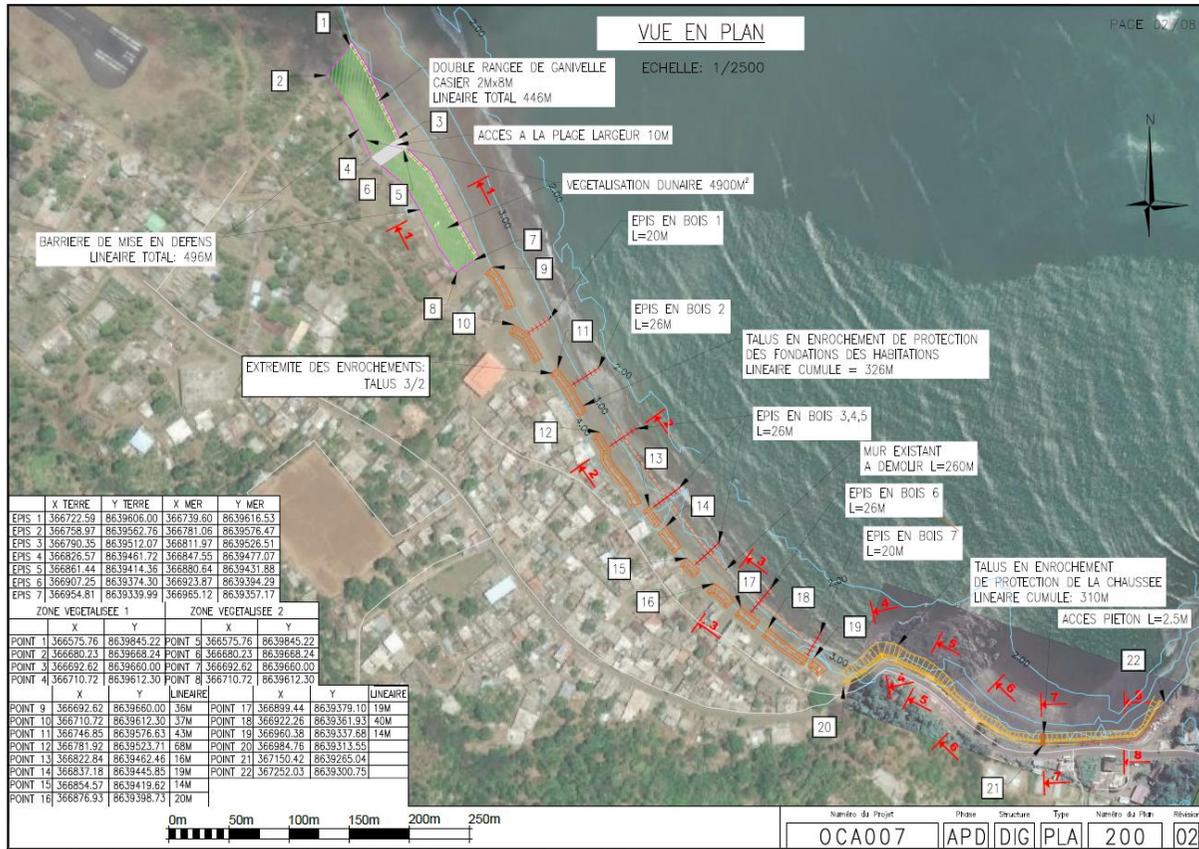
Ce confortement intègre au préalable un renforcement du perré existant, qui ne sera plus directement accessible après la pose des enrochements : rejointoiement des éléments maçonnés, correction des éventuels défauts du mur, maintien des passages pour l'eau de ruissellement/franchissement, obturation des cavités.

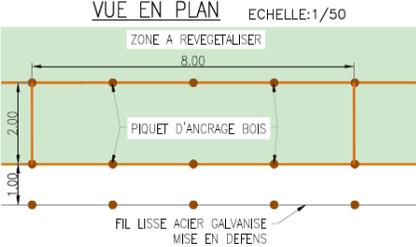
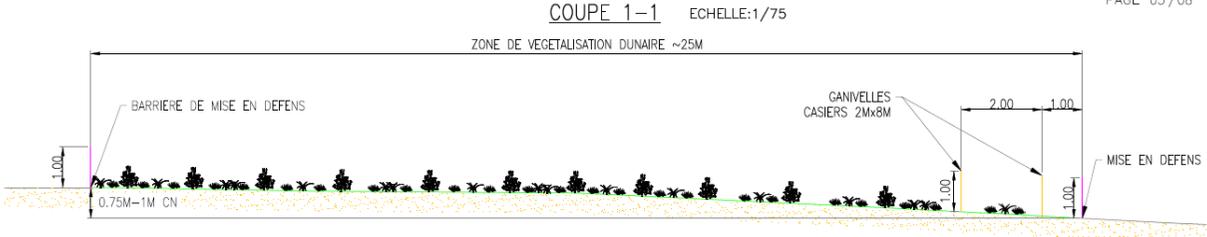
Les caractéristiques principales de la protection en enrochements sont les suivantes :

- Longueur : 310m
- Cote d'arase : variable entre 5.70mCM et 6.74mCM
- Pied de talus : +2.46mCM à +3.70mCM selon le TN
- Carapace : bicouche en enrochements 0.3-1T
- Corps d'ouvrage : 60-300kg
- Butée de pied : 3 enrochements et crête et deux enrochements en épaisseur

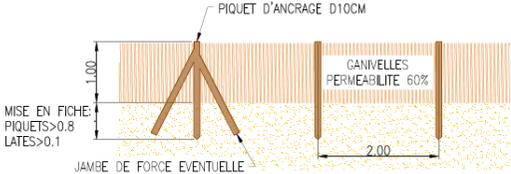
Dans les secteurs les plus critiques, notamment lorsque la sous-couche est de faible épaisseur ou absente, la disposition des blocs en pavé arrangé sera privilégiée.

Un accès piéton à la plage est prévu depuis la route au centre de la zone traitée, au-devant de l'école. Constituée d'une dalle béton de 2.50m de large, recouvrant les enrochements, préalablement comblés par une couche de petit enrochement de blocage.

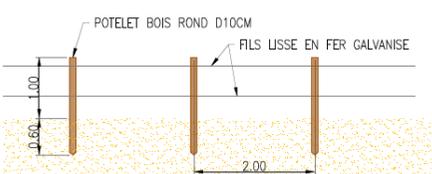




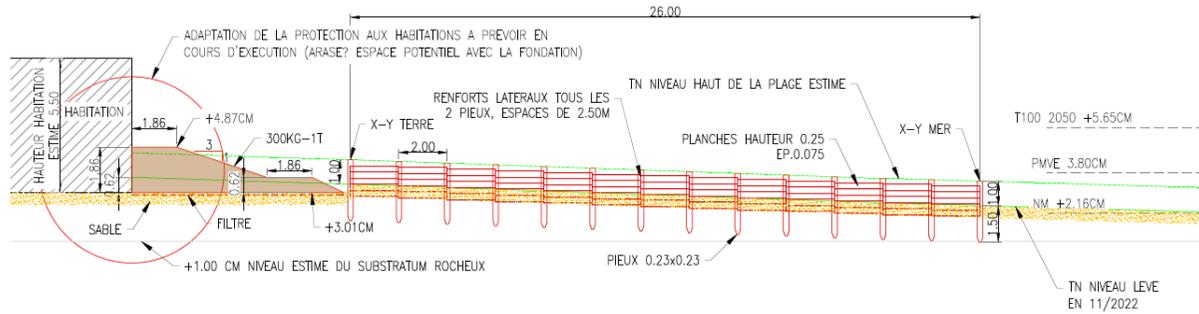
DETAIL GANIVELLES ET PIQUET D'ANCRAGE ECHELLE:1/50



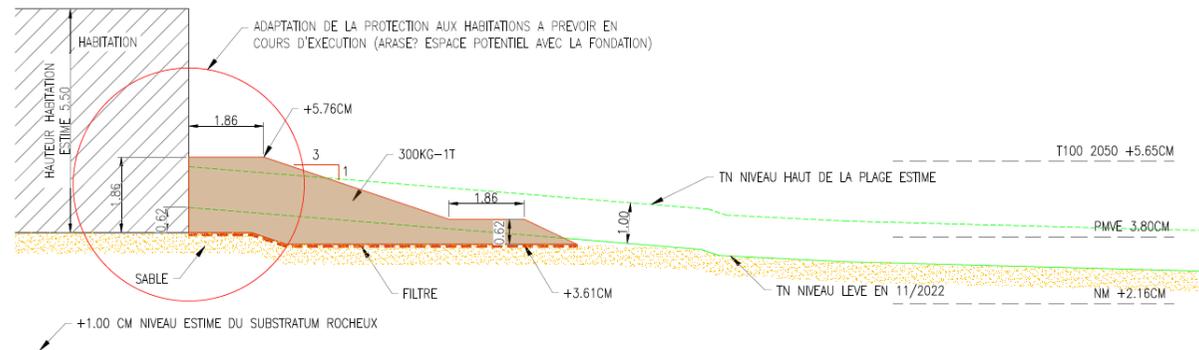
DETAIL BARRIERE DE MISE EN DEFENS ECHELLE:1/50

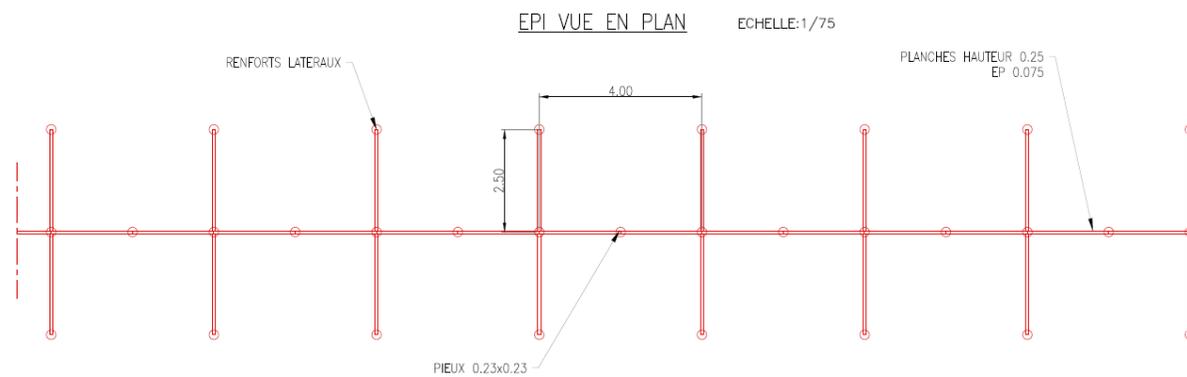


COUPE 2-2 ECHELLE:1/125

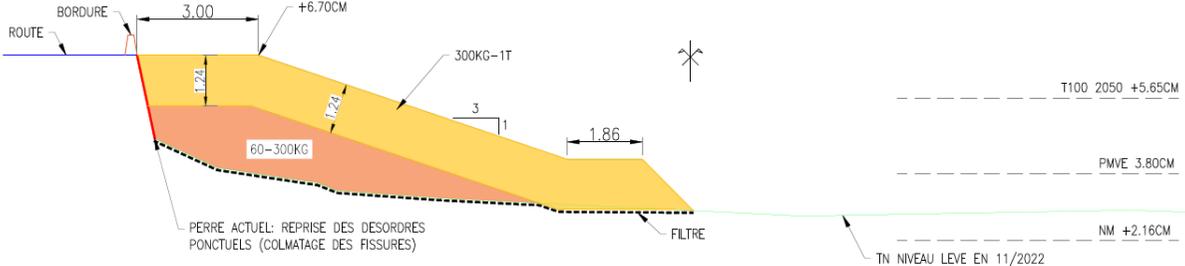


COUPE 3-3 ECHELLE:1/75

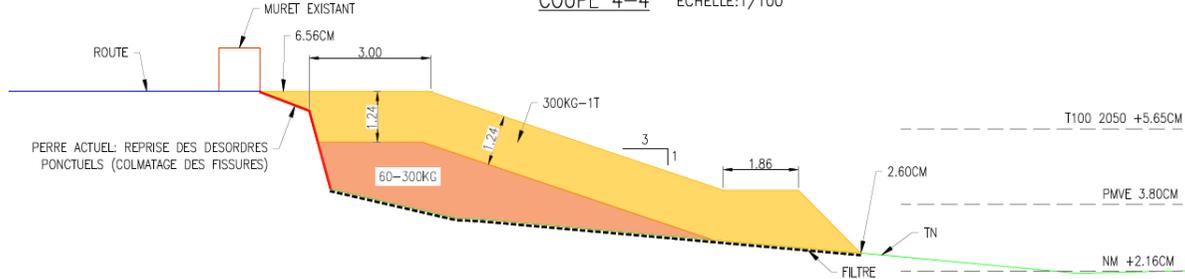




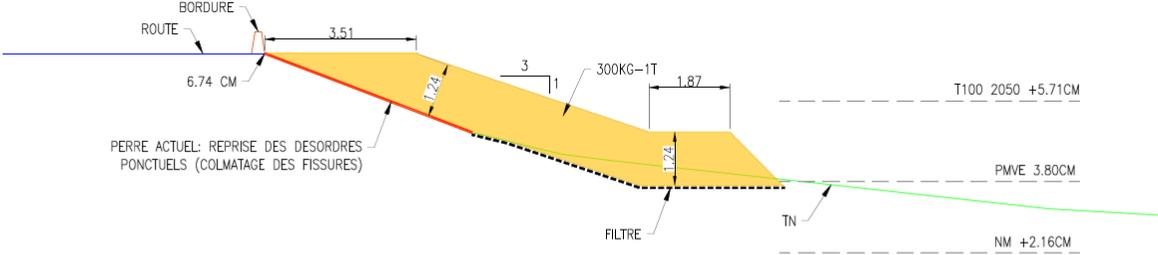
COUPE 5-5 ECHELLE:1/75



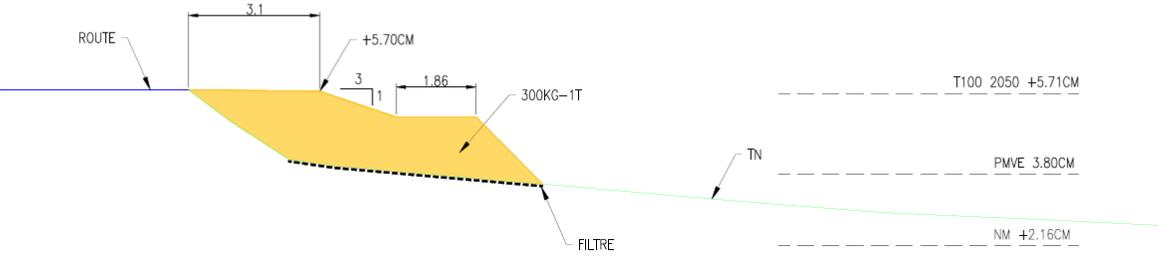
COUPE 4-4 ECHELLE:1/100

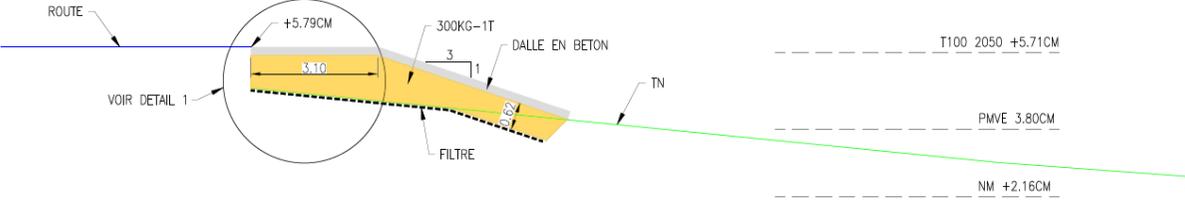


COUPE 6-6 ECHELLE:1/75

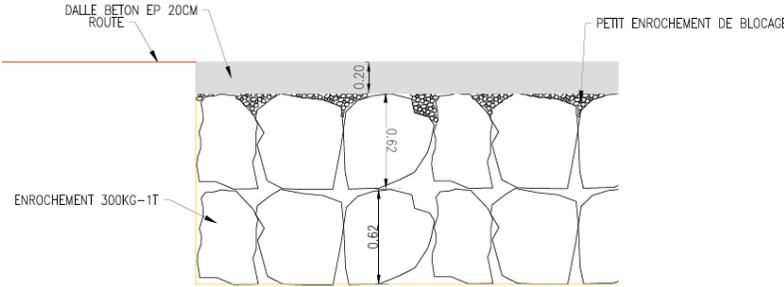


COUPE 8-8 ECHELLE:1/75





DETAIL 1 ECHELLE:1/20



Description détaillée des travaux du site de Nioumachoua

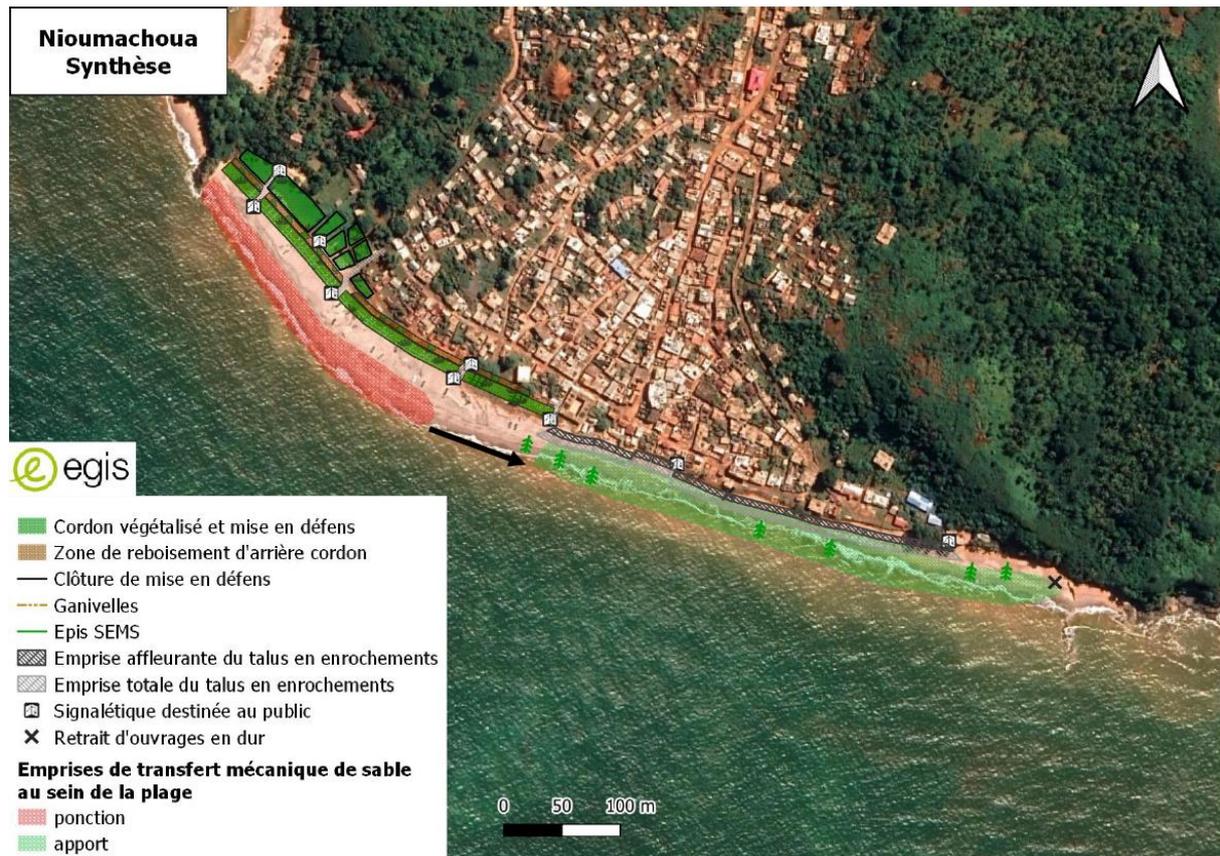
1. Description détaillée des aménagements

1.1. Types d'ouvrages et implantations

Les aménagements proposés concernent cette plage principale, en partie Sud de la ville, et visent principalement à rétablir une dynamique hydro-sédimentaire la plus naturelle possible, ceci à l'aide d'aménagements souples et mobilisant autant que possible les ressources matérielles et humaines locales.

Plus précisément, la solution finalement retenue prévoit les actions et aménagements suivants :

- **La suppression des éléments durs**, artificiels, situés sur l'estran (enrochements actuels, vestiges d'anciens mur détruits, escaliers, structures maçonnées etc...).
- **Le réalignement de la plage** à l'aide d'un transfert mécanique de sable depuis la partie ouest vers la partie est de la plage ; l'objectif est de retrouver une largeur de plage uniforme sur le site. Le volume de sable à mobiliser / déplacer est estimé à 26 500 m³.
- En partie Ouest de la plage, les aménagements viseront une renaturation la plus importante possible du système plage-arrière-plage, avec :
 - **La restauration d'un petit relief de cordon sur le haut de plage**, planté d'Ipomée et d'un cortège floristique et arbustif adapté (arbuste en partie arrière), qui viendra compléter le reprofilage de la plage. Ce cordon s'apparentera à un bourrelet dunaire, ou léger relief, dont le rôle sera d'offrir une protection contre la submersion avec une hauteur uniformisée le long de cette partie de la plage.
 - **Une mise en défens du massif dunaire**, mise en œuvre de pièges à sable, et végétalisation des espaces encore dépourvus de végétation ; en partie Ouest du site, la protection des espaces déjà végétalisés aujourd'hui sera poursuivie par une extension de la couverture d'ipomea.
 - **La création d'un espace boisé tampon d'arrière-plage**, derrière le cordon, planté d'arbres Mwaro et Thespesia, complétés de Ficus elastica et/ou Pandanus, qui servira d'espace possible de déplacement du cordon et de tout le prisme sableux littoral après 2050.
- En partie Est de la plage, les aménagements viseront à limiter le recul du rivage, en associant :
 - **Une protection provisoire en haut de plage en enrochements**, permettant de limiter le recul en cas de tempête ;
 - **L'aménagement d'épis hydrauliques de type épis SEMS** (systèmes d'épis Maltais-Savard), constitués de matériaux biosourcés locaux (bois - végétaux), ayant pour objectif de favoriser le maintien du sable rechargé sur ce secteur, en limitant la mobilité du sable et les départs en direction de l'Ouest, et en direction des mangroves au Nord-Est.



Synthèse des aménagements prévus à Nioumachoua

Solutions	Objectifs	Particularités
Renforcement du haut de plage via des solutions douces fondées sur la nature	Restauration d'une dynamique hydro-sédimentaire naturelle du système plage-dune. Réduction de l'érosion Réduction de la submersion Valorisation du haut de plage et de la qualité paysagère du site (tourisme, loisirs)	Réalignement de la plage, suppression des points durs et maintien du sable à l'aide d'épis semi-perméables (SEMS) En partie Ouest de la plage : Reprofilage / création d'un cordon dunaire homogène et végétalisation avec des plantes rampantes (ipomea et cortège floristique), boisement de l'arrière-cordon (p.ex. hibiscus/Mwaro, Thespesia populnea, ficus elastica, Pandanus), mise en place de ganivelles et guidage du public ; Maintien d'accès à la plage, et de zone de parcage pour les pirogues sur le haut de plage
Enrochements de protection en haut de plage, partie Est	Réduction de l'aléa érosion pour les enjeux exposés	Protection provisoire en enrochements visant à limiter le recul du rivage, en complément des épis semi-perméables (SEMS) (pas de relocalisation immédiate des enjeux)

1.2. Retrait des ouvrages en dur sur la plage

Le retrait des ouvrages en dur tels que les talus en enrochement, les restes d'escaliers, les dalles béton, et les murs effondrés sur la plage sera à réaliser avant les travaux de transfert de sable et reprofilage de la plage. Ce retrait, combiné au réalignement de la plage, permettra de revenir à une situation antérieure à la création de la digue en partie Est, qui a vraisemblablement favorisé le départ de sable de cette partie de la plage en direction de l'Ouest et du Nord-Est (vers la mangrove). Les remparts historiques de la ville ne sont pas concernés par ce retrait, bien qu'il semble que cela puisse être bien accepté par la communauté, le cas échéant.

Les volumes à retirer sont estimés en prenant en compte :

- Escaliers, murs effondrés, fondations, murs encore debout ;
- Plan incliné en béton ;
- Divers blocs présents sur la plage, notamment au pied des remparts historiques ;
- Le talus de protection actuel en enrochements (basalte), existant en haut de plage, à l'Est des remparts historiques.

Les volumes à retirer sont estimés à environ 175 m³ pour les blocs épars et le talus en enrochements existant, et à 45m³ pour les éléments en béton ou maçonnerie pouvant nécessiter une démolition préalable. Au sein de ce dernier volume, on trouvera beaucoup de gravats de démolition. Les gravats pourront vraisemblablement être revalorisés comme remblai pour une construction dans le village. Les blocs de basalte seront quant à eux déposés, triés et entreposés en retrait de la zone réaménagée, puis partiellement réemployés par exemple pour le lestage des épis SEMS (diamètre 0.10m env.), et/ou pour le nouveau talus en enrochements, en cas de compatibilité de la blocométrie, sinon pour alimenter d'autres chantiers à proximité. En tout état de cause, ces matériaux ne doivent pas être maintenus en l'état sur la plage.



Exemples d'ouvrages à évacuer avant d'engager la renaturation de la plage

1.3. Réalignement et reprofilage de la plage

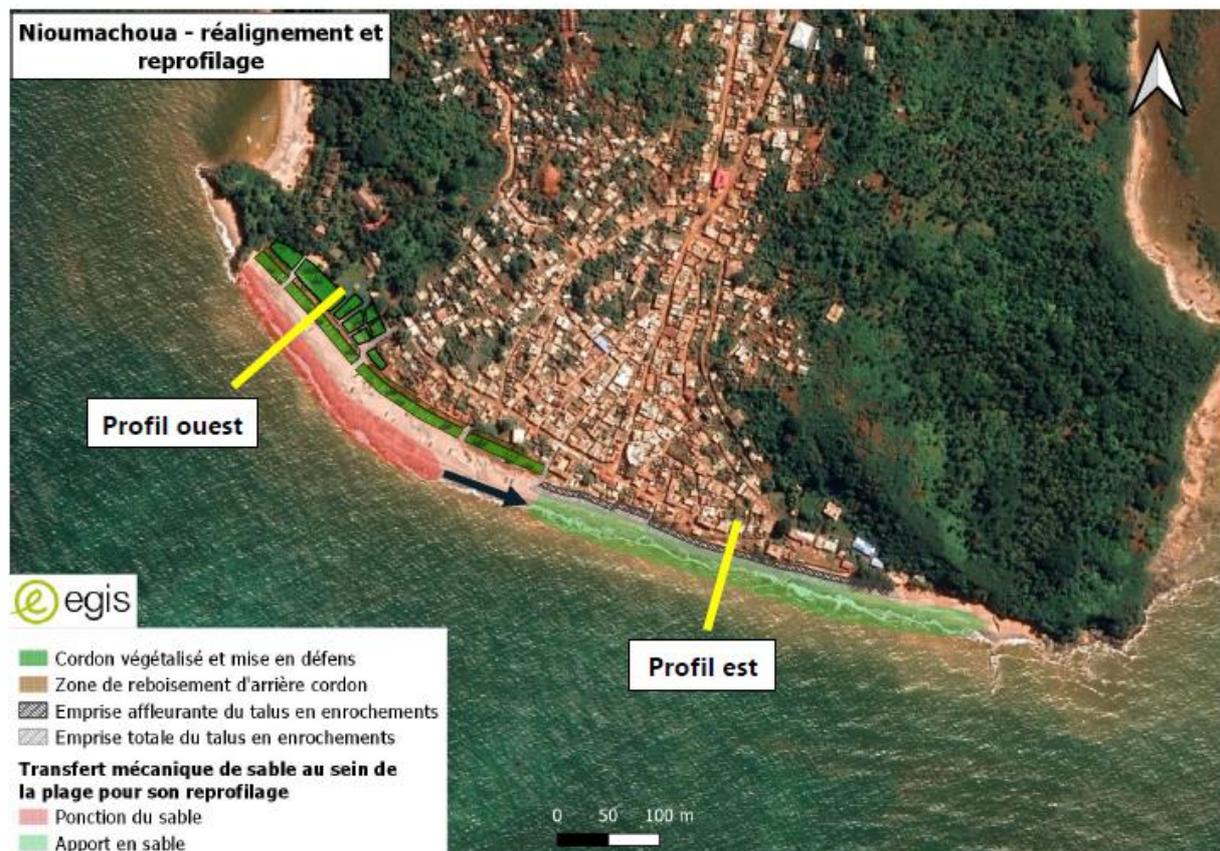
A. Transfert mécanique de sable pour recharger la partie Est de la plage

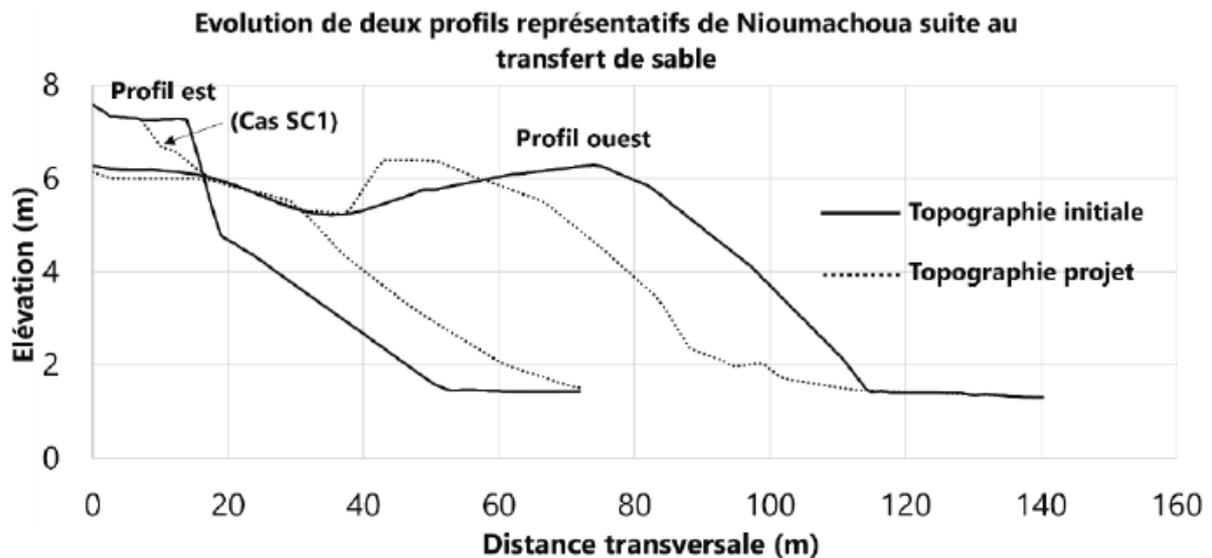
Le rechargement de la partie Est de la plage de Nioumachoua sera réalisé par transfert mécanique de sable depuis la partie Ouest de la plage, en accrétion. Ce transfert sera réalisé à l'aide d'engins de chantier sur la plage de type : tractopelle, camion benne, dumper ou bulldozer. Cette relocalisation du stock sédimentaire est réalisée localement sans apport de sable extérieur à la plage de Nioumachoua.

L'idée est de profiter d'un volume de sable raisonnable disponible en partie Ouest de la plage pour combler, en partie, le volume manquant perdu à l'Est ; et ainsi procéder au trajet inverse de l'action de la dérive littorale, en vue de réaligner la plage. En partie Est de la plage, un reprofilage du haut de plage et du cordon dunaire vient compléter la mesure de protection en reformatant une protection naturelle homogène le long du littoral.

Le réalignement est conçu en considérant une largeur de plage minimale de 50 m maintenue en partie Ouest du site, en conservant une pente constante de la zone de battement des vagues, et en préservant une certaine largeur du haut de plage. Un recul de 15-20m vers les terres des isohypses est ainsi obtenu dans la zone où la plage est la plus « grasse », en déblayant une partie du prisme sableux entre +2 et +6 m CM. En partie Est, la plage peut ainsi s'élargir d'une dizaine de mètres selon les calculs et plans réalisés.

La modélisation de ce réalignement met en évidence la nécessité de déplacer environ 26 500 m³ de sable de l'Ouest vers l'Est du site. Le volume définitif de sable à déplacer, conditionné par l'évolution de la morphologie du site d'ici là, devra être actualisé au démarrage des travaux sur la base d'un nouveau levé topographique de la zone à aménager.





Evolution de deux profils de plage avec le transfert de sable projeté (topographie novembre 2022)

B. Création d'un cordon dunaire linéaire en partie Ouest de la plage

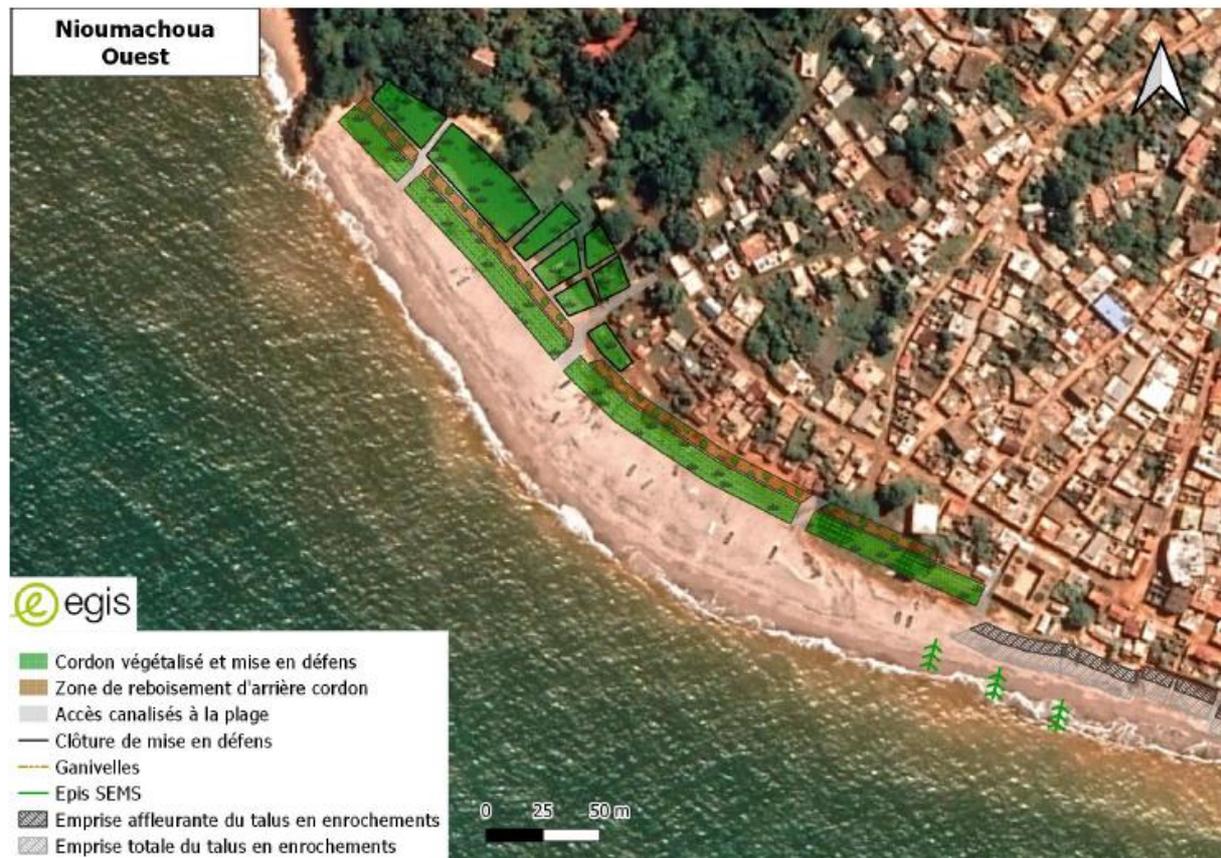
Un bourrelet de 10 mètres de large, arasé au minimum à +6.4 m CM, et plus uniforme dans son alignement, sera façonné en partie Ouest de la plage, de manière mécanisée de manière à recréer un cordon de haut de plage, qui puisse freiner les submersions marines lors des tempêtes/fortes marée et permettre un espace tampon pour l'érosion.

Ce cordon réaménagé par reprofilage mécanique concernera uniquement la partie Ouest de la plage, non occupée actuellement par des bâtiments, et se fera dans la foulée du réalignement et reprofilage de la plage avec transfert de sable. Une partie du sable transféré sera utilisée pour remodeler le cordon.

Les volumes de sable à terrasser / mobiliser, concernés par cet aménagement sont intégrés au volume global de transfert mécanique de sable décrit dans la section précédente.

Le cordon sera végétalisé et protégé par des clôtures en son sein, qui joueront un rôle de brise-vent et d'aide au maintien du sable. Ces clôtures poreuses serviront aussi à piéger du sable nouveau transporté par les vents de mer venant du sud, depuis la plage. Des cheminements seront prévus afin de canaliser la fréquentation du site, séparant le cordon en 4 tronçons le long de la zone d'intervention. Enfin, le cordon dunaire passe juste devant les principaux grands arbres existants, qui seront maintenus et intégrés dans le cordon, autant que possible.

Le linéaire cumulé concerné est d'environ 305 m.



Segmentation du cordon de haut de plage envisagée – Gestion du haut de plage en partie Ouest de la zone d'intervention

1.4. Mise en œuvre de pièges à sable / ganivelles sur le cordon dunaire

L'arrangement des ganivelles sur le cordon de Nioumachoua respectera le schéma de mise en place de casiers avec : 4 corridors de casiers principaux parallèle au trait de côte (5 rangs de ganivelles), et de petites lignes de ganivelles qui intersectent perpendiculairement les rangées principales (schéma de damiers avec un quadrillage 2m x 8m en quinconce). La largeur du dispositif est de 10m environ. La hauteur des barrières sera de l'ordre de 1 m au-dessus du sol, pour éviter l'enjambement trop facile de la clôture par les promeneurs.

La barrière est tenue à l'aide de poteaux de bois similaires à ceux des épis SEMS, en Filao de 1.8m de haut, fichés de 0.8m dans le sable, afin de supporter l'effet de déchaussement par les vagues de tempête. Les poteaux sont reliés par des lattes en bois, ou autres matériaux de réutilisation (mais résistants aux intempéries), placées verticalement et fixées les unes aux autres. Une perméabilité de 60% environ sera recherchée pour ce type de clôture, avec p.ex. des lattes de 4cm de diamètre ou largeur, espacées de 6cm, et fichées de 10cm dans le sable.

Les ganivelles sont assemblées sur ces piquets et mises en tension par du fil de fer galvanisé.

A minima à chaque extrémité, une jambe de force ou un tirant seront installés pour pouvoir tendre les ganivelles. Les poteaux situés aux angles seront également étayés en cas de changement de direction significatif.

La ligne longitudinale côté mer sera de conception la plus robuste possible afin de réduire le risque de dégradation et d'intrusion sur la zone ainsi protégée (ajout de jambes de force).

Un linéaire total de 2 350 m, est estimé pour mettre en défens les 4 tronçons de cordons, soit environ 7 mètres de barrière brise-vent par mètre linéaire de dune.

Des essences locales seront privilégiées pour la mise en oeuvre de ce dispositif.

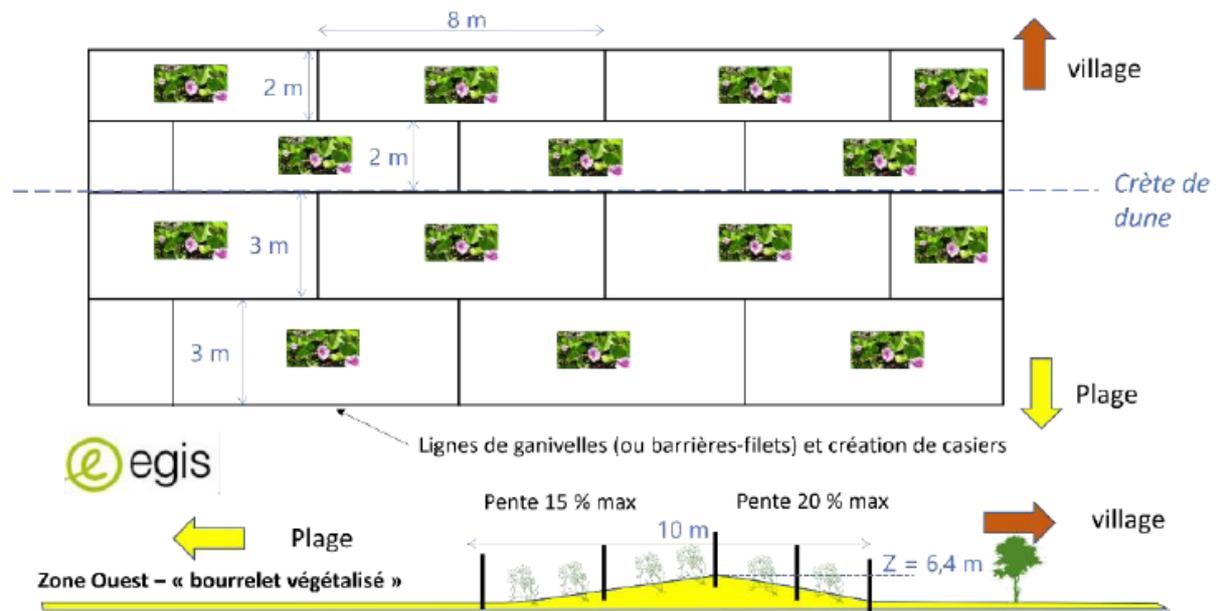
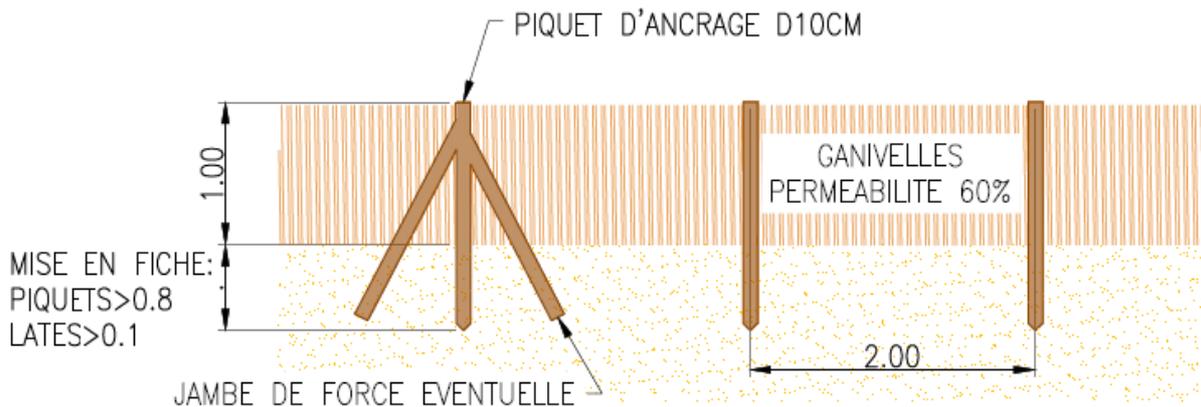


Illustration de la taille des casiers à végétaliser sur le cordon et de la vue en coupe à l'Ouest et à l'Est du site (casiers fermés par des barrières brise-vent)



Plan de pose de ganivelles

1.5. Mise en défens et végétalisation d'une « lande » d'arrière-cordon

A. Végétalisation du cordon dunaire protégé par les ganivelles

La végétalisation de l'espace entre les barrières brise-vent de type ganivelles est réalisée grâce à l'ipomée-pied-de chèvre (*Ipomoea pes-caprae* ; « poumpou » en langue locale, ou « patate bord de mer », « patate à Durand ») qui a un fort pouvoir d'envahissement et de couverture rapide du sol. L'ipomée est déjà présente sur une grande partie du littoral des Comores, et en particulier de Mohéli. Elle pourra être associée à d'autres espèces de plantes rampantes/arbustives décrites en section suivante.

A ce stade, il est considéré que la végétalisation sera essentiellement faite par bouturage des ipomées, dans le cadre d'actions communautaires, à l'instar de ce qui a été réalisé à Ouallah p.ex. Les boutures sont plantables à 60 cm d'espacement les unes des autres.

La végétalisation réalisée dans le cadre d'actions communautaires, permettra de renforcer la sensibilisation, l'appropriation de la solution, et facilitera la maintenance de cet aménagement dans le temps.

Une surface de végétalisation d'environ 3 400 m² est considérée. Sur cette surface sont prévus 9000 boutures d'ipomées environ.

B. Mise en défens des zones déjà partiellement végétalisées présentes en partie Ouest – renforcement de la végétalisation

Les zones végétalisées à l'ouest du site sont des espaces tampon essentiels pour la tenue des sols et le ralentissement de la submersion marine. Ces espaces de basse altitude aujourd'hui couverts d'ipomée et d'autres types de végétations basses doivent être protégés du piétinement par des petites barrières poreuses et légères, dissuadant seulement de pénétrer sur la zone.

La barrière fera environ 1 m de haut une fois posée. Elle est constituée de piquets en bois durs de 1.6 m de haut, de section de 10 cm, taillés en pointe, et enfoncés de 60 cm dans le sable. Ces piquets peuvent être faits de bois de Filao, de Badamier ou Manguier. Ils sont plantés dans le sol (sable) par creusement de trous à la tarière thermique (ou électrique) dans des trous d'une quarantaine de centimètres, puis battus à la grande masse à main jusqu'à l'enfoncement de 60 cm. Les piquets sont espacés de 1.5m à 2m selon le matériau reliant les piquets entre eux ; deux techniques sont possibles :

- Pour la première, les piquets sont espacés de 2 m et reliés par un fil métallique lisse de palissage ;
- Pour la seconde, les piquets sont espacés de 1.5m et reliés par des lisses en bois vissés/cloués qui peuvent servir aussi de main courante.

Afin de limiter l'utilisation de bois et les coûts de mise en oeuvre, une solution avec fil métallique est privilégiée à ce stade. L'utilisation de lisses en bois permettrait néanmoins une meilleure intégration au contexte paysager du site.

Ce guidage est retenu pour le périmètre de la zone. Un linéaire total de 665 m, est considéré à ce stade, permettant de fermer les espaces de 2795 m² déjà en grande partie végétalisés de l'arrière-plage.

Un renforcement de la végétalisation est prévu de ce fait à l'arrière des ganivelles, sur les zones nues mises en défens, avec des boutures d'hibiscus/mwaro (*Hibiscus tiliaceus*), de *Thespesia populnea*, de Mkoroa (*Calophyllum inophyllum*), de Badamier (*Terminalia catapa*), ou bien de *Ficus Elastica* ou *Pendanus*. Ces espèces sont natives et se développent bien aux Comores et en particulier sur Mohéli. Le ficus présente un système racinaire semi-aérien permettant de retenir le sable. Le filao au contraire n'est pas natif et peut devenir envahissant, c'est pourquoi sa plantation est ici exclue.

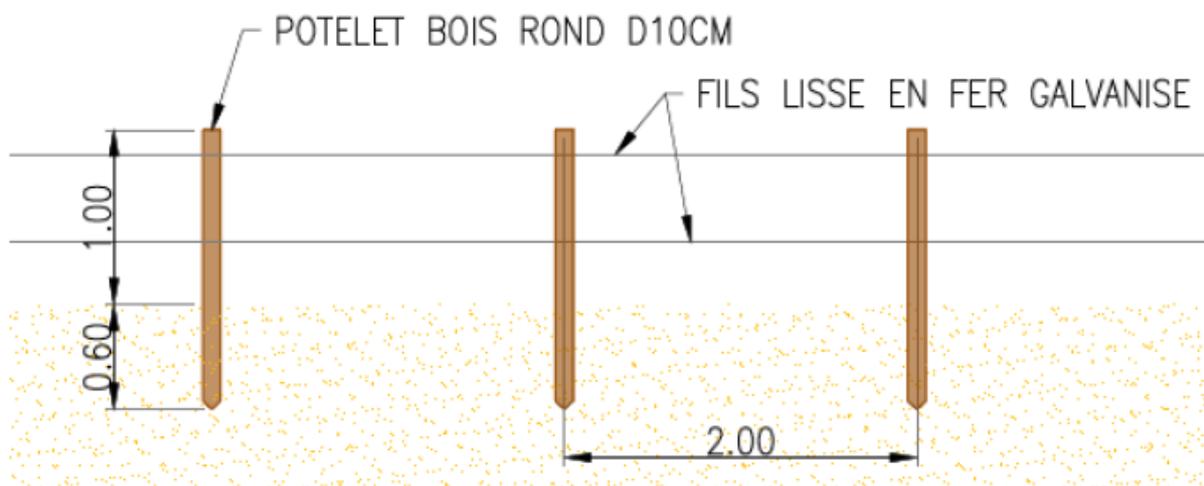
La végétalisation sera réalisée par bouturage, idéalement dans le cadre d'actions communautaires, dans un but de sensibilisation, appropriation de la solution, et de facilitation de la maintenance de cet aménagement dans le temps.

Une surface de végétalisation forfaitaire d'environ 1 000 m² est considérée. Sur cette surface sont prévus :

- Nombre de boutures d'ipomées : environ 2000 pour la zone à végétaliser
- Nombre d'arbres : environ 100



Carte et emprise des zones végétalisées de l'Ouest de la plage de Nioumachoua à mettre en défense (contour en vert pointillé montré par une grande flèche)



Plan de pose de barrières de mise en défense de la végétation d'arrière-plage

1.6. Canalisation du public / Zones de cheminement et accès aménagés

A. Cheminement à travers le cordon dunaire

Quatre (4) accès à la plage de 4 à 6 mètres de large sont prévus, dont trois (3) aménagés à travers le cordon équipé de ganivelles (deux sur les trois correspondant par ailleurs à une voie d'écoulement d'eau du bassin versant), et un (1) à la jonction du cordon équipé et de la protection en enrochements. Une signalétique dédiée sera également mise en place pour guider et sensibiliser les usagers du site.

B. Zone de cheminement arrière-cordon boisée

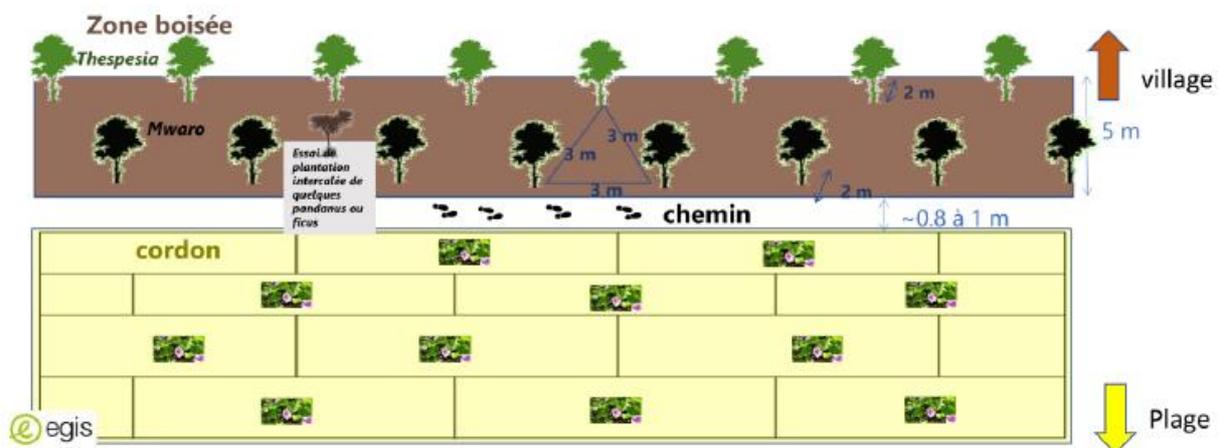
Un chemin de 80 cm à 1 m sera aménagé à l'arrière du cordon. Cet espace de cheminement reste étroit et suivi d'une bande boisée de 5 m de large, qui sera plantée d'arbres de type Hibiscus tiliaceus

(Moiro ou « mwaro »), *Thespesia populnea* avec deux alignements espacés de 3 m en quinconce (triangles de 3 m entre les arbres + largeur du port de l'arbre = 5 m).

Les filaos sont exclus. Les Mwaro/Hibiscus sont à privilégier considérant leur présence native sur l'île. Dans un premier temps, il peut être intéressant de planter également sur cette zone quelques *Ficus elastica* et *Pandanus* entre les arbres, afin de tester si leur croissance peut-être plus rapide que celle des 2 essences d'arbres préconisés. La figure suivante illustre le principe d'arrangement envisagé sur cette zone de transition. Celui-ci devra être finalisé en lien avec le PNM et la ville de Nioumachoua.

Les surfaces concernées, et non arborée actuellement, sont estimées à 1 500 m². La surface prise en compte dans le DQE est néanmoins divisée par deux compte tenu de la densité de plantation bien plus faible que sur le cordon dunaire.

Suivant ces plans, environ 200 arbres sont à prévoir (100 plants de Mwaro et 100 plants de *Thespesia*).



Plan général d'implantation des arbres filaos sur la bande boisée d'arrière-cordon de Nioumachoua

Afin de ne pas surcharger la zone d'arrière-plage il n'est pas envisagé de mettre en défens par des barrières la zone nouvellement plantée d'arbres. Il s'agira néanmoins de grillager le contour des arbres par du grillage léger de type « cage à poule » afin d'éviter que les animaux domestiques n'abîment les petits plants.

C. Signalétique à destination du public

Des panneaux d'information à destination du public sont prévus au niveau des accès à la plage, en plusieurs points d'accès du cordon dunaire et de la protection en enrochements. Ils pourront avoir les fonctions suivantes :

- Expliquer le processus de revégétalisation de la dune et les impacts positifs sur la réduction des aléas et la préservation de la biodiversité ;
- Eviter le piétinement de la dune, sensibiliser sur la nécessité d'agir avec la nature ;
- Guider les personnes vers l'accès canalisé au centre de la zone ;
- Eventuellement localiser les zones de parages d'embarcations privilégiées.

Au total, 9 panneaux d'information sont prévus sur le site. Leur localisation finale et contenu seront établis en concertation avec le PNM et la Collectivité. Le panneau sera de grande taille, de dimensions environ 1.0 x 1.5 m au minimum, fixé à un support bois ou métal suffisamment résistant et ancré dans le sol pour assurer sa tenue dans le temps.

1.7. Protection de haut de plage en enrochements en partie Est de la zone d'intervention

A. Talus en enrochements

La bande littorale bâtie, située en partie Est de la plage sera confortée avec un talus en enrochement. Il s'agit d'une solution transitoire, le temps d'organiser et mettre en oeuvre une stratégie de réinstallation des enjeux les plus exposés.

Ce talus de 4.6m de hauteur environ, initialement enterré en haut de plage, présente une pente 2H/1V afin de limiter l'emprise sur la plage, tout en limitant l'effet réfléchissant de l'ouvrage et le risque d'affouillement en pied.

Les caractéristiques principales du talus en enrochement sont les suivantes :

- Longueur cumulée de talus en enrochement : environ 360 m
- Cote d'arase de l'ouvrage : constante à +6.40mCM
- Largeur en crête : 2.48m (4 Dn50)
- Cote en pied (sous le niveau de la plage) : +4.00 mCM
- Talus en enrochements 0.3-1 t, de pente 2H/1V
- Sous-couche en enrochements 60-300 kg, épaisseur 0.93m (1.5 Dn50)
- Butée de pied : épaisseur 1.24m (2 Dn50), largeur 1.86m en base / 2.48m en crête (4 et 3 Dn50 resp.).

Le sable préalablement décaissé pour la mise en oeuvre du talus et de la butée de pied sera remis en haut de plage, en pied de la protection, pour recouvrir au maximum le talus en enrochements.

Il est important de noter que le talus de protection en enrochements est prévu de se positionner contre le talus de haut de plage actuelle. Dans ce cadre, des adaptations pourront être requises au moment des travaux, avec par exemple un terrassement préalable du talus et/ou un remblaiement additionnel, de manière à maintenir un profil en long le plus linéaire possible.

Par ailleurs, au niveau des remparts historiques, les talus de protection en enrochements sont prévus de se positionner « contre » ces vestiges. Dans ce cadre, il est important que les protections soient réglées / adaptées au moment des travaux, en veillant lors de la mise en oeuvre à ce que les blocs soient le moins possible en appui sur les murs de fondation visiblement fragiles ; un petit espace sera maintenu entre le talus et le mur historique. La construction devra se faire avec grande précaution pour ne pas détériorer ces vestiges. Des précautions similaires seront prises pour tous les cas de proximité du talus en enrochements avec des fondations d'habitations.

B. Passage des eaux de ruissellement

Le talus sera discontinu afin de permettre le bon écoulement des eaux de ruissellement du bassin versant au niveau des exutoires ou fils d'eau existant le long du linéaire d'intervention.

Deux (2) passages d'environ 1-3 mètres de largeur ont été identifiés au niveau des anciens remparts historiques, pour lesquels la protection en enrochements sera interrompue pour laisser le passage libre à ces écoulements du bassin versant, en continuité des exutoires actuels. Une pente latérale du talus de 3H/2V sera prévue en limite des exutoires en l'absence de mur ou cadre béton pouvant bloquer les enrochements. Ces interruptions de la protection permettront par ailleurs également le passage des usagers par temps sec.

C. Accès à la plage

Un (1) accès à la plage, correspondant à une ouverture dans le talus en enrochements, sera maintenu à l'Est à immédiat du rempart historique visible depuis la plage. Compte tenu du caractère provisoire de

l'ouvrage de protection, il n'est pas prévu d'autre accès à la plage, en continuité de la situation actuelle (les principaux accès piétons et embarcations sont situés en partie Ouest et centrale).

Néanmoins, en fonction notamment des conclusions de l'EIES, des accès complémentaires peuvent être envisagés, sous la forme d'une dalle béton de 2.50m de large, épaisseur 0.20m, coulée sur les enrochements préalablement comblés de petits enrochements de blocage. Des escaliers provisoires en bois, posés sur les enrochements peuvent également être envisagés, en particulier si aucun accès n'a été réalisé durant les travaux, et que le niveau de la plage ne s'est pas maintenu tel que prévu, induisant une dénivelée importante pour les usagers.

1.8. Epis semi-perméables de type SEMS

A. Implantation et principales caractéristiques des épis

Compte tenu de la dynamique connue du site, il est retenu de disposer 7 épis le long de la zone rechargée : un groupe de 3 SEMS et un groupe de 2 SEMS aux extrémités du site pour éviter les fuites de sédiments en direction de l'Ouest et du Nord-Est ; et un groupe de 2 SEMS au centre, sur la zone actuellement la plus érodée, compte tenu de la présence possible sur ce secteur de courants de dérive plus proches de la côte et/ou orientés vers les petits fonds. Comme indiqué précédemment, ces épis seront mis en oeuvre le plus tôt possible après rechargement de cette partie du littoral. Leur longueur prévue des SEMS est de 14 mètres environ (distance selon l'axe principal).

L'Épis SEMS sera constitué d'un axe-tronc, ou épi central formant la colonne principale de la structure, et des branches qui forment les épis latéraux. Chaque axe ou branche de l'épis est constitué d'une rangée de 2 alignements de pieux parallèles espacés de 60 cm, avec un espace de 80 cm entre chaque pieu d'une même ligne. Dans cette configuration les piquets des deux rangées se font face. Cette double rangée forme un compartiment ou « casier » allongé dans lequel des éléments obstruant de remplissages par des végétaux de type branchages solides sont placés sur le sol, et maintenus par du géotextile ou biotextile pour diminuer la porosité de l'ouvrage, tout en restant poreux pour laisser passer l'eau des vagues, avec un rôle uniquement de frein aux écoulements.

Chaque épi sera placé sur la partie haute de l'estran, et ne sera ainsi actif qu'à marée haute lorsqu'il sera touché par le jet de rive des vagues.

Il est considéré que l'extrémité basse des épis se situera au plus bas au niveau de la ligne de marée haute moyenne (après rechargement), soit +3.40mCM environ, et que sa partie supérieure ne fermera pas le haut de plage afin de maintenir la possibilité de circuler sur la plage (au besoin, l'épi peut être raccourci d'un tiers de sa longueur). Les épis les plus à l'ouest et les épis centraux seront à distance suffisante du talus en enrochements, ceci afin de laisser la possibilité de transférer une pirogue de pêche d'un côté à l'autre de la plage. Les épis les plus à l'ouest et les plus à l'est sont placés en léger décalage afin d'avoir un impact positif sur une large partie de l'estran.



Carte de positionnement des petits groupes d'épis SEMS (selon un arrangement 3+2+2) afin de maintenir le rechargement

B. Matériaux constitutifs des épis

Les épis sont construits avec des piquets solides espacés de 80 cm dans le sens de la longueur. Ces piquets sont mis en deux lignes parallèle afin de former un casier (un couloir) avec une largeur de 60 cm.

Les piquets, longs de 2.5 m, seront taillés en pointe (affûtés en biseaux à une extrémité pour les enfoncer dans le sol), fichés d'environ 1.2m dans le sable de la plage, et auront un diamètre suffisant et homogène sur toute la longueur du piquet : diamètre d'environ 15 cm (10 cm au minimum, et idéalement entre 12 et 17 cm ; si possible > 15 cm pour les piquets les plus exposés à la houle, en pied de la structure et extrémités côté mer et touchées en premier par les vagues).

A Nioumachoua, il est envisagé d'employer des essences de bois locaux comme le filao (espèce invasive qu'il s'agit d'utiliser en premier pour remplacement), le badamier, le manguier qui semblent adaptés au milieu marin et faits de bois durs.

De la « coupe de bois », ou des palmes, pourront servir au remplissage des casiers, confinés à l'aide de fibre coco biotextile, par exemple (solide et biodégradable, une qualité de 400 g/m² sera un bon compromis entre solidité et perméabilité). Des pierres assez grosses, de l'ordre de 0.10 m de diamètre (quelques kg), pourront par ailleurs venir lester le biotextile dans sa forme de hamac/gouttière avant de le fixer, le remplir, puis le refermer.

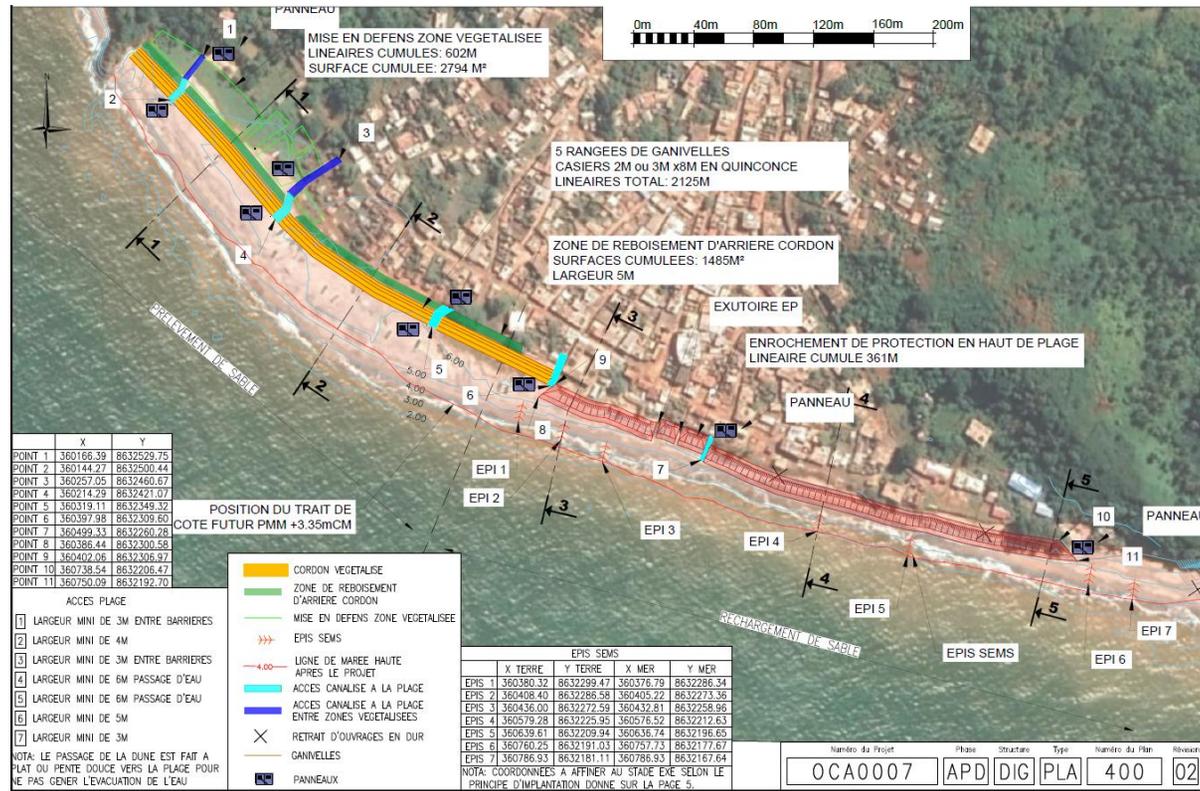
Le remplissage au sein des casiers des SEMS doit se faire en au moins deux étapes séparées dans le temps afin de monter les éléments obstruant progressivement avec la montée du niveau du sable. Il ne faudra en aucun cas monter les deux niveaux de remplissage avant que le premier niveau n'ait été en majorité recouvert par le sable.

Chaque épis SEMS implique l'emploi des matériaux suivants, hors marge / aléa lié à la mise en oeuvre, en particulier en cas d'utilisation de masses pour le fichage des pieux :

- 102 pieux nécessaires par SEMS de 10 à 17 cm de diamètre et 2,5 m de long
- 108 petites barres / « baguettes », qui sont des barres de bois de 60 à 70 cm de long et 10 cm de diamètres qui ferment la construction transversalement aux casiers entre chaque paire de pieux, et renforcent la structure.
- 2 rouleaux de 40 m x 2 m de fibre de coco biotextile (solide et biodégradable, 400 g/m² sera un bon compromis entre solidité et perméabilité)
- Environ 14 barres de renforcement en bois de 1,7 m de long et 10 cm de section pour consolider les épis à leurs extrémités, en reliant 3 paires de pieux de chaque côté de l'alignement
- De la « coupe de bois » ou des palmes pour matériaux de remplissage des casiers
- Une centaine de pierres de 10 cm de diamètre environ (quelques kg) pour lester le biotextile dans sa forme de hamac/gouttière avant de le fixer, le remplir, puis le refermer. Ces pierres peuvent être celles récupérées sur la plage au démarrage des travaux (blocs épars et/ou talus existant) et/ou concassées à partir des autres matériaux évacués / déposés au démarrage des travaux.

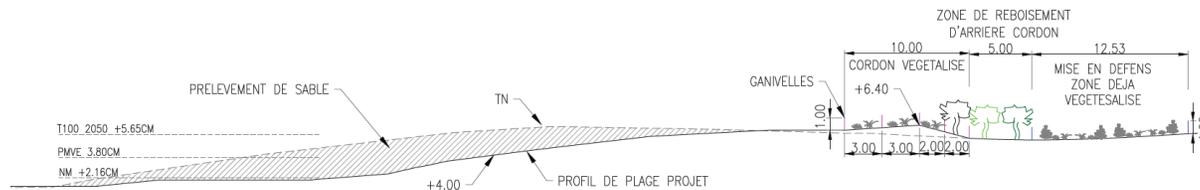
En considérant une marge d'environ 5 à 15% sur les quantités de bois, selon les sollicitations à la mise en oeuvre, et considérant les sept (7) épis SEMS prévus sur le site, les quantités totales sont estimées à :

- 820 pieux/piquets L 2.5m D 0.15m (0.10-0.17m)
- 800 « baguettes » L 0.65m D 0.10m
- 14 rouleaux de 40 m x 2 m de toiles de fibre de coco biotextile (400 g/m²)
- 105 barres de renforcement en bois L 1.7m D 0.10m
- 700 pierres d'environ 10 cm de diamètre (quelques kg).



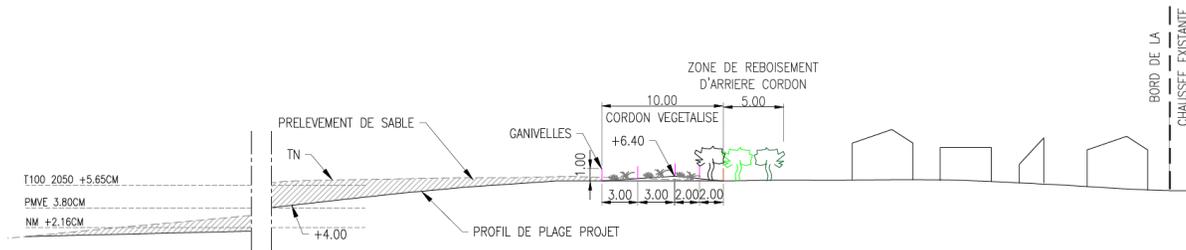
COUPE 1-1

ECHELLE:1/250



COUPE 2-2

ECHELLE:1/250

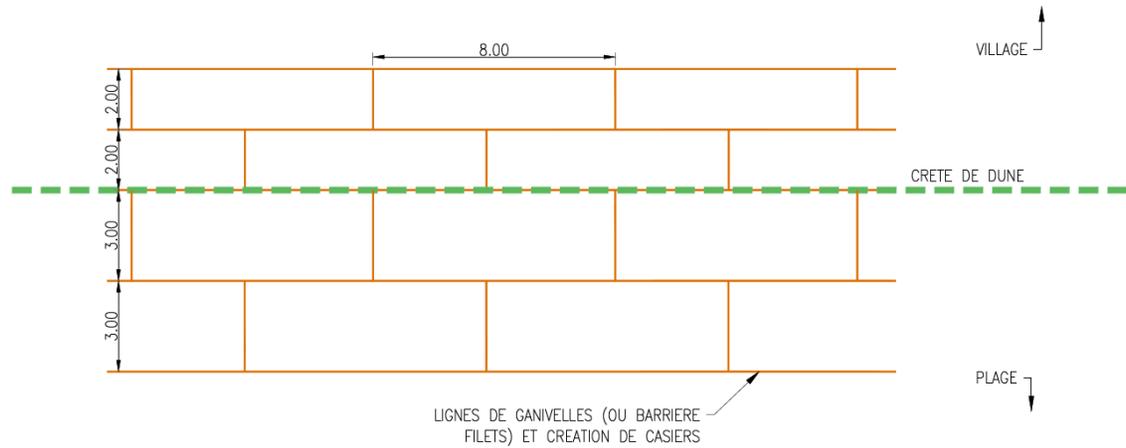


NOTA: LATITUDE DE DEPLACEMENT POUR BARRIERES DE MISE EN DEFENS DE LA VEGETATION DERRIERE LE CORDON ~2M
 LATITUDE DE DEPLACEMENT POUR GANIVELLES SUR LE CORDON ~1M
 (EN COHERENCE AVEC L'AGENCEMENT GENERAL DU DISPOSITIF, ET LES LARGEURS MINIMALES DES ACCES PLAGE)

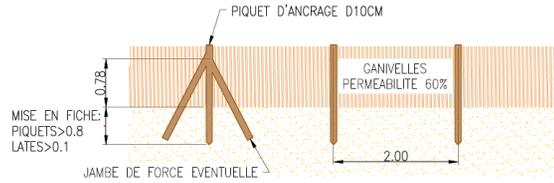
Numéro du Projet	Phase	Structure	Type	Numéro du Plan	Révision
OCA0007	APD	DIG	PLA	400	02

VUE EN PLAN DETAIL DISPOSITION GANIVELLES

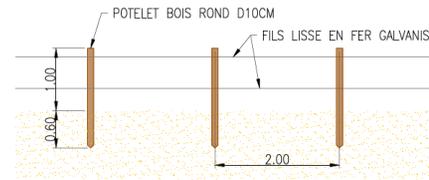
ECHELLE:1/125



DETAIL GANIVELLE ET PIQUETS D'ANCRAGES ECHELLE:1/50



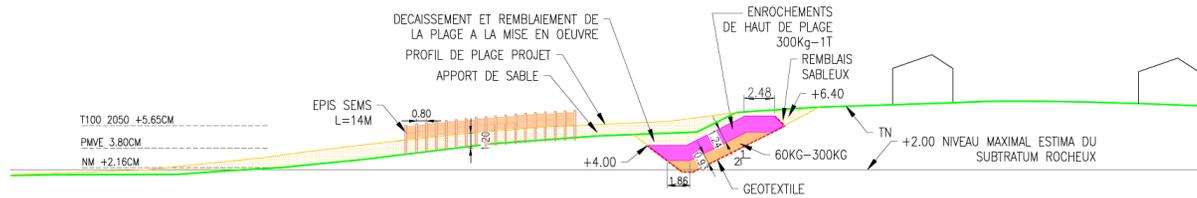
DETAIL BARRIERE DE MISE EN DEFENS ECHELLE:1/50



COUPE 3-3

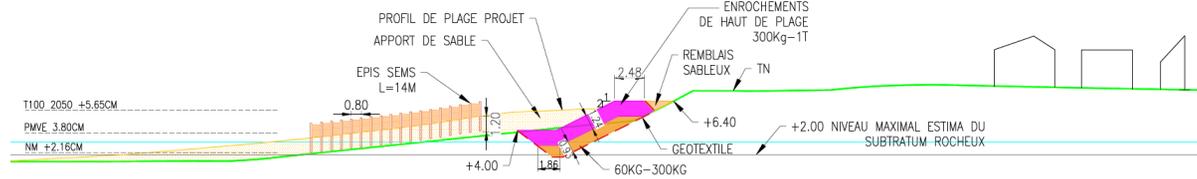
ECHELLE:1/250

PAGE 05/07



COUPE 4-4

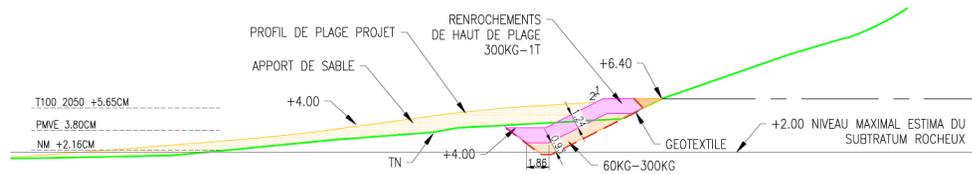
ECHELLE:1/250



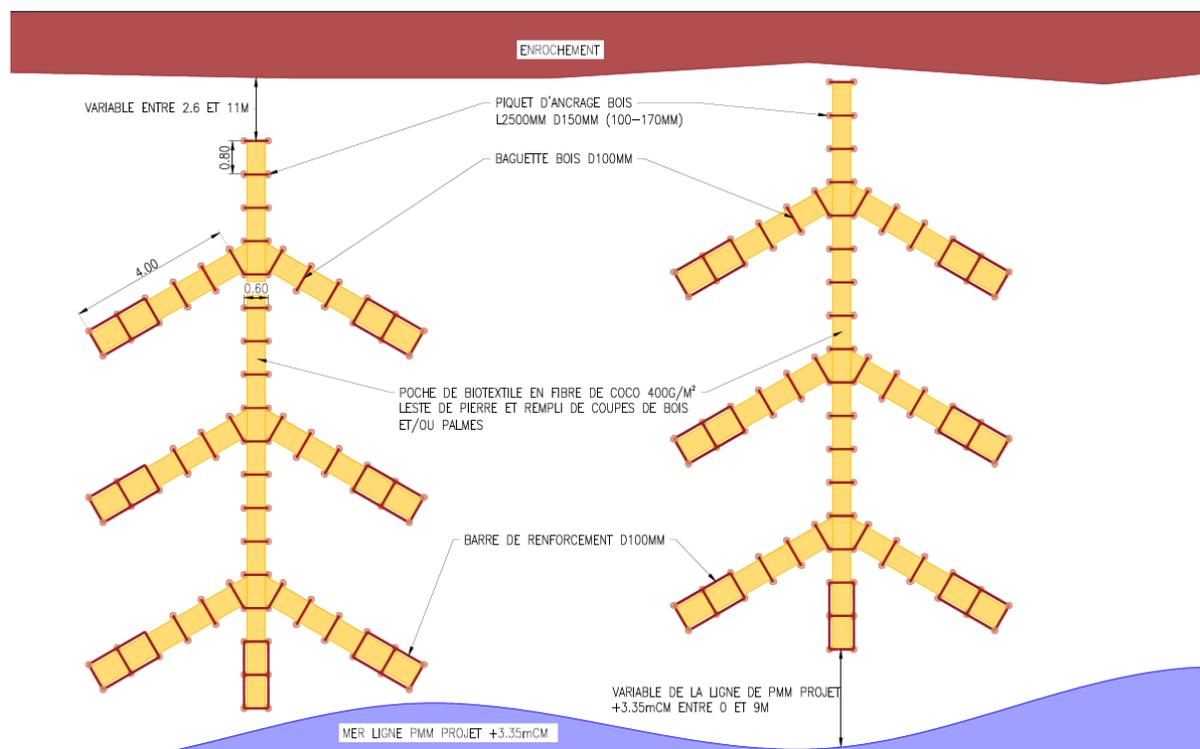
NOTA: LES REGLES SUIVANTES DE POSITIONNEMENT DEVONT ETRE SUIVIES AU MOMENT DE LA CONSTRUCTION :
 L'AXE DE POSITIONNEMENT DE L'EPHI RESTERA IDENTIQUE A CELUI DES PLANS (AXE TERRE-MER); SEUL UN DEPLACEMENT TRANSVERSAL D'AVANCEE OU DE RECL DE LA STRUCTURE EST POSSIBLE.
 L'AXE PRINCIPAL EST DONNE PAR LES COORDONNEES DE DEBUT ET FIN DE L'AXE PRINCIPAL DE L'EPHI, REPRES DANS LE TABLEAU D'IMPLANTATION APD SUR LA VP.
 L'EXTREMITÉ DES EPIS COTE MER SE SITUERA A UNE DISTANCE INFERIEURE A 10 M DE LA LIGNE DE MAREE HAUTE MOYENNE APRES RECHARGEMENT, QUE L'ON CHOISIT ICI COMME LA COURBE DE NIVEAU Z=+3.35MCM.
 LA LONGUEUR DES EPIS SERA D'ENVIRON 14 M EN COHERENCE AVEC LES PLANS PRESENTES, SAUF SI LA DISTANCE AVEC L'EXTREMITÉ DU PIED DE TALLUS EST INFERIEURE A 1.5 M, CEI AFIN DE MAINTENIR LA POSSIBILITE DE CIRCULER SUR LA PLAGE ET CONTOURNER L'EPHI PAR L'ARRIERE, CONSIDERANT DE PLUS LA LARGEUR DU PIED DE TALLUS (SUPERIEURE A 3 M).
 LES EPIS 1 A 3 SERONT A DISTANCE SUFFISANTE AFIN DE LAISSER LA POSSIBILITE DE TRANSFERER UNE PIROGUE DE PECHE D'UN COTE A L'AUTRE DE LA PLAGE.
 LES DEUX EPIS A L'EST POURRONT EVENTUELLEMENT ETRE RAPPROCHES A LA DISTANCE MINIMALE D'UN METRE CINQUANTE AFIN DE LAISSER UN SIMPLE PASSAGE PIETON.
 DANS LE CAS OU L'ESPACE EST LIMITE, L'EPHI PEUT ETRE RACCOURCI D'UN TIERS DE SA LONGUEUR, SOIT UN TRONCON DES « BRAS » OU EPIS LATERAUX DE LA STRUCTURE.)

COUPE 5-5

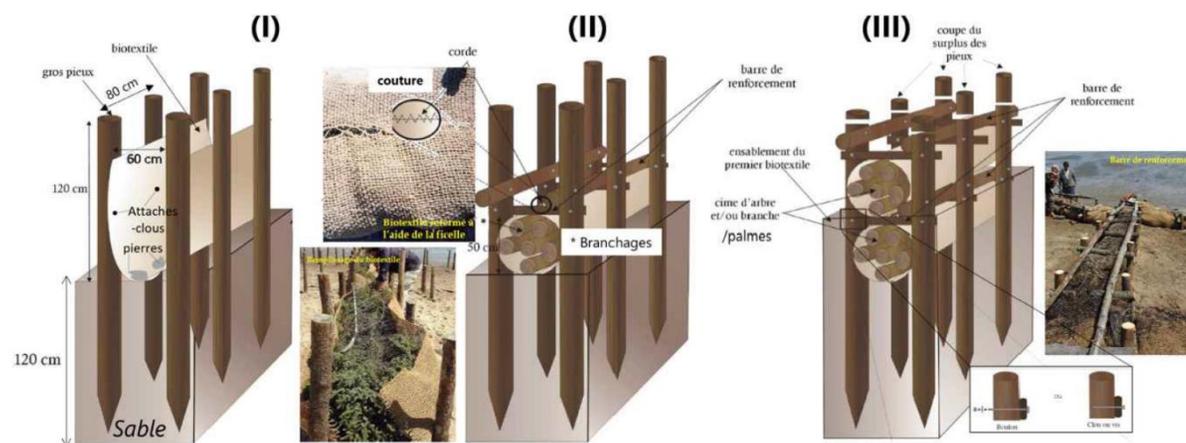
ECHELLE:1/250



VUE EN PLAN DE PRINCIPE DES EPIS SEMS ECHELLE:1/75



SCHEMA DE PRINCIPE DES EPIS SEMS



SCHEMAS DES PRINCIPES DE MISE EN PLACE DES EPIS SEMS SELON DEUX ETAPES SEPARÉES DANS LE TEMPS POUR MONTER UN PREMIER ÉTAGE (SCHEMAS I ET II), PUIS UN SECOND (SCHEMA III) APRES UN TEMPS D'ENSABLEMENT NATUREL (ADAPTÉ DU GUIDE DE CONSTRUCTION ZIP, 2003).

