

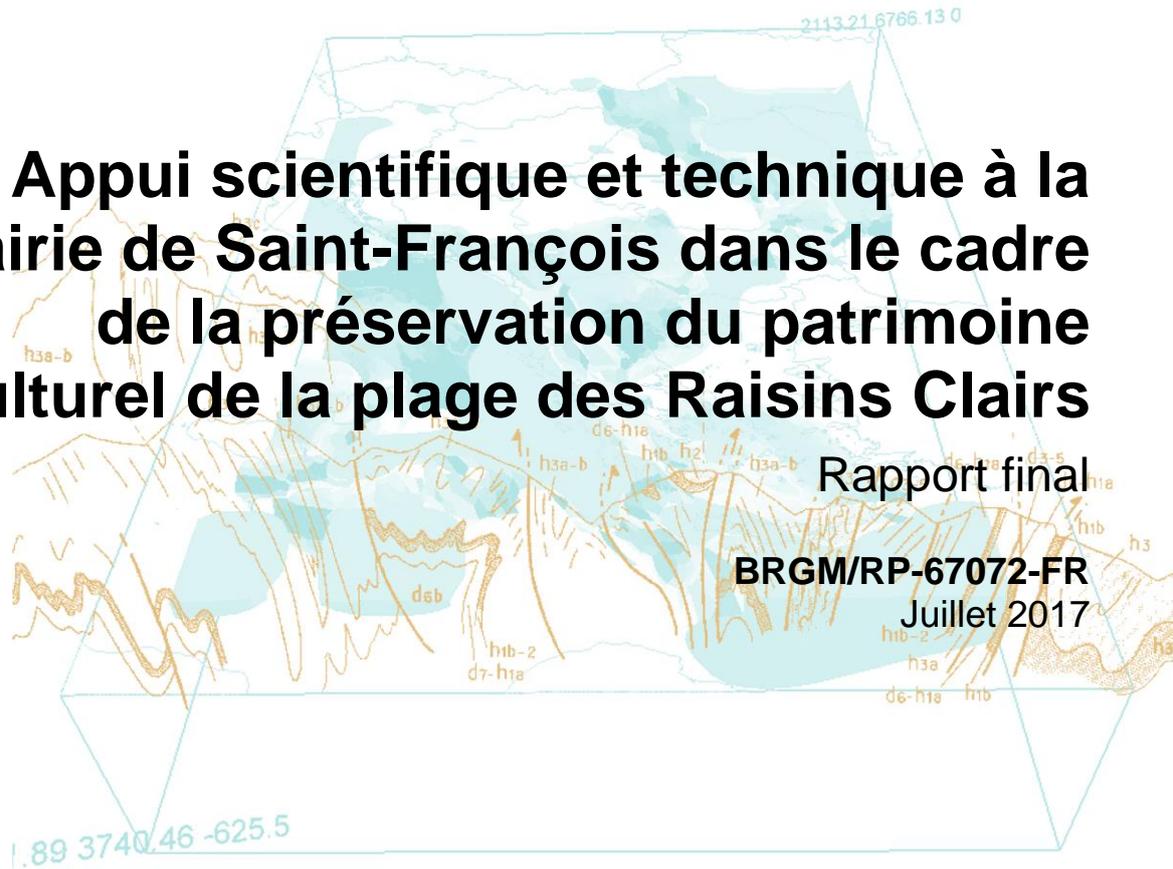


# Appui scientifique et technique à la mairie de Saint-François dans le cadre de la préservation du patrimoine culturel de la plage des Raisins Clairs

Rapport final

BRGM/RP-67072-FR

Juillet 2017



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



# Appui scientifique et technique à la mairie de Saint-François dans le cadre de la préservation du patrimoine culturel de la plage des Raisins Clairs

Rapport final

**BRGM/RP-67072-FR**

Juillet 2017

Étude réalisée dans le cadre des opérations  
de Service public du BRGM 2017-AP17PTP019

**Y. Balouin et Y. Legendre**

**Vérificateur :**

Nom : E. Palvadeau

Fonction : Chef de projet Littoral

Date : 23/018/2017

Signature :

**Approbateur :**

Nom : Y. De La Torre

Fonction : Directeur BRGM  
Guadeloupe

Date : 24/08/17

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement  
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Mots-clés :**

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**Balouin, Y. et Legendre, Y.** (2017) – Appui scientifique et technique à la mairie de Saint-François dans le cadre de la préservation du patrimoine culturel de la plage des Raisins Clairs. Rapport final. BRGM/RP-67072-FR, 54 p., 43 ill.

## Synthèse

En août et septembre 2014, l'érosion de la plage des Raisins Clairs à Saint-François a conduit à la mise à nu d'une partie du site archéologique de l'ancien cimetière colonial et l'apparition d'ossements. Cet événement est venu rappeler l'importance de l'exposition à la houle, des mouvements sédimentaires de la plage.

Suite à une expertise du BRGM en 2014 (Legendre et De La Torre, 2014), des premières mesures d'urgence ont été appliquées sur le site entre 2015 et 2016: (1) balisage du site pour en interdire l'accès ; (2) installation d'une signalétique adaptée ; (3) pose d'un géotextile le long de la microfalaise.

Aujourd'hui la Sous-Préfecture de Guadeloupe, la Direction des Affaires culturelles (DAC), la Région Guadeloupe et la Commune de Saint-François désirent protéger sur du plus long terme le site archéologique de l'ancien cimetière colonial en conciliant préservation du site archéologique, aménagement touristique sur l'ensemble de la zone, l'équilibre sédimentaire et le fonctionnement naturel de la plage des Raisins Clairs. Ils ont ainsi confié au BRGM une mission d'appui et de conseil scientifique et technique dans cette opération.

Le premier volet de ce travail consiste à recenser les données disponibles sur le site de manière à établir un diagnostic du phénomène érosif. Les données d'évolution du trait de côte, de morphologie de la plage, des volumes sableux mobilisés ces dernières années et des forçages météo-marins (houle, vents, cyclones) ont permis d'établir un schéma de fonctionnement de la baie des Raisins Clairs. Les courants liés à la houle induisent un transit sédimentaire d'est en ouest qui réduit progressivement le stock sableux. La problématique d'érosion de la plage des Raisins Clairs réside en conséquence d'un déficit chronique en sédiment, phénomène naturel qui affecte la quasi-totalité des littoraux. Ce phénomène est localement accru par des ouvrages qui viennent perturber le transit naturel. La jetée de l'embouchure de la ravine Cayenne qui piège le sable sur la plage de la gendarmerie, les enrochements du cimetière municipal et du restaurant 'Les Raisins Clairs' jouent en effet un rôle de blocage sédimentaire et accentuent localement l'érosion de la plage.

L'inventaire des solutions techniques de luttés contre l'érosion met en évidence plusieurs stratégies visant à gérer le trait de côte et à restaurer un espace de liberté au littoral. Certaines techniques, susceptibles d'accentuer l'érosion ou d'avoir des effets collatéraux importants sont écartées ; c'est notamment le cas de la fixation du trait de côte par des ouvrages durs.

Deux scénarios d'aménagement sont ainsi proposés :

- Un premier aménagement basé sur la restauration d'un espace tampon par ré-ensablement de la plage à son niveau de 2010. Ce scénario vise à rétablir le stock sédimentaire, mais également à restaurer les transits sableux naturels au droit du cimetière colonial ainsi que sur les parties adjacentes à la plage. Étant donnée la variabilité saisonnière et événementielle de la plage (occurrence de cyclones ou de tempêtes), un ouvrage de protection rigide est préconisé au droit du cimetière colonial pour jouer le rôle de protection ultime du site archéologique, en cas de rapide démaigrissement exceptionnel de la plage. Cette protection rigide doit toutefois bien être considérée comme une protection ultime du site archéologique et le but est qu'elle ne soit jamais exposée à la mer car cela conduirait à une érosion accélérée de la plage attenante. Des ré-ensablements d'entretien réguliers sont donc à effectuer. ;

- Le second scénario, à considérer pour un aménagement à plus long-terme, est celui de la relocalisation des enjeux soumis à l'érosion, principalement le restaurant et le cimetière colonial. Si ce scénario suppose un investissement financier, humain et technique lourd pour la relocalisation (notamment les fouilles archéologiques), il constitue cependant un objectif de gestion à long-terme qu'il convient d'étudier.

# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>9</b>
1.1. CONTEXTE .....	9
1.2. OBJECTIF DE L'ÉTUDE .....	10
1.3. DONNÉES DE BASE .....	10
1.4. L'ÉTUDE .....	11
1.4.1. Programme de l'étude .....	11
1.4.2. Contenu du rapport .....	11
<b>2. Recensement des données disponibles .....</b>	<b>12</b>
2.1. FACTEURS PHYSIQUES MÉTÉO-MARINS .....	12
2.1.1. Données marégraphiques .....	12
2.1.2. Données de houle .....	12
2.1.3. Données météorologiques .....	13
2.1.4. Données sur les cyclones .....	13
2.2. DONNÉES MORPHOLOGIQUES, SÉDIMENTOLOGIQUES .....	14
2.2.1. Données sur la position du trait de côte .....	14
2.2.2. Données topo-bathymétriques .....	15
2.2.3. Données de sédimentologie .....	16
<b>3. Diagnostic du phénomène érosif de la baie des Raisins Clairs .....</b>	<b>19</b>
3.1. GÉOMORPHOLOGIE DE LA BAIE DES RAISINS CLAIRS .....	19
3.2. EVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE .....	19
3.2.1. Évolution historique .....	20
3.2.2. Évolution récente .....	21
3.3. EVOLUTION ÉVÉNEMENTIELLE : EXEMPLE DU CYCLONE DEAN .....	23
3.4. EVOLUTION TOPO-BATHYMÉTRIQUE RÉCENTE .....	25
3.5. BILAN SÉDIMENTAIRE .....	27
3.6. SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT DE LA PLAGES .....	28
<b>4. Inventaire des solutions techniques de lutte contre l'érosion .....</b>	<b>31</b>
4.1. LES TECHNIQUES D'ADAPTATION CONTRE LA MER ET LEURS LIMITES .....	31
4.1.1. La relocalisation des biens et des services .....	31
4.1.2. Le laisser faire .....	32

4.1.3. L'intervention limitée ou l'accompagnement par des solutions souples ..	32
4.1.4. Le maintien du trait de côte par des techniques dures .....	34
4.1.5. Le nettoyage raisonné des plages .....	37
4.1.6. Autres systèmes .....	38
4.2. LA GESTION DES CORDONS DUNAIRES ET DES HAUTS DE PLAGE .....	41
4.2.1. La couverture de débris végétaux.....	41
4.2.2. Les brises-vents .....	42
4.2.3. Les plantations .....	42
4.2.4. Autres techniques.....	43
4.3. SYNTHÈSE SUR LES STRATÉGIES DE GESTION ET SOLUTIONS TECHNIQUES DE DÉFENSE CONTRE LA MER .....	44
<b>5. Recommandations .....</b>	<b>47</b>
5.1. RAPPEL DES OBJECTIFS DE GESTION .....	47
5.2. ANALYSES DE LA PERTINENCE DES DIFFÉRENTES SOLUTIONS TECHNIQUES	
47	
<b>6. Recommandations .....</b>	<b>50</b>
6.1. SCÉNARIO 1.....	50
6.1.1. Protection rigide du cimetière .....	51
6.1.2. Ré-ensablement .....	51
6.1.3. Végétalisation et gestion de la fréquentation .....	52
6.2. SCÉNARIO 2.....	53
<b>7. Bibliographie.....</b>	<b>55</b>

## Liste des figures

Illustration 1 – Localisation de la commune de Saint-François et le plage des Raisins Clairs. ....	9
Illustration 2 – Talus d'érosion au niveau du cimetière colonial (Oct 2014). ....	9
Illustration 3 – Rose annuelle des vents à la Désirade (Météo-France). ....	13
Illustration 4 : Extraits des différentes campagnes photographiques utilisées dans l'étude BRGM 2017 – Plage des Raisins Clairs, commune de Saint-François (Fonds orthophotographiques de l'IGN© 1950, 1998, 2004, 2010 et orthosatellite Pléiades, 2013 – Guillen et al., 2017) .....	15
Illustration 6 – Levé drone de la plage des Raisins Clairs (Mars 2017, ©BRGM). ....	16
Illustration 7 – Carte sédimentologique du plateau continental de l'archipel de Guadeloupe (Ifremer, 2008). ....	17

Illustration 8 – Morphologie et bathymétrie de la baie des Raisins Clairs (Levé Litto 3D 2010 ©IGN).....	19
Illustration 9 – Position du trait de côte (limite de la végétation) de 1950 à 2016, Guillen et al, 2017. ....	20
Illustration 10 – Position du trait de côte (jet de rive) de 1950 à 2016, Guillen et al, 2017. ....	21
Illustration 11 – Evolution de la position du trait de côte (limite de végétation et jet de rive) entre juillet 2016 et mars 2017. ....	22
Illustration 12 - Evolution de la position du trait de côte (limite de végétation et jet de rive) entre mars 2017 et juin 2017. ....	22
Illustration 13 – Images satellitales (©GoogleEarth) illustrant la variabilité saisonnière de la plage entre Oct 2014 et Fev 2015. ....	23
Illustration 14 – Coupure de presse suite au passage de Dean en 2007. ....	24
Illustration 15 – Photographies de la plage de Saint-François après le passage de Dean (Chauvet et al., 2007). ....	24
Illustration 16 – Levé du trait de côte (08/09/2007) et limites de submersion suite au passage de Dean (Chauvet et al., 2007).....	25
Illustration 17 – Evolution topo-bathymétrique du profil ouest de la plage des Raisins Clairs.....	26
Illustration 18 – Evolution topo-bathymétrique du profil central de la plage des Raisins Clair (en haut : profil complet ; en bas : zoom sur le haut du profil). ....	26
Illustration 19 – Evolution topo-bathymétrique du profil Est de la plage des Raisins Clair (en haut : profil complet ; en bas : zoom sur le haut du profil).....	27
Illustration 20 – Bilan sédimentaire de la plage des Raisins Clairs entre 2010 et 2017. ....	28
Illustration 21 – Schéma de fonctionnement de l’hydrodynamique liée aux vagues et au vent dans la baie de Raisins Clairs. ....	29
Illustration 22 – Schéma de fonctionnement du transport sédimentaire dans la baie de Raisins Clairs.....	29
Illustration 23 - Exemple de rechargement en sable au moyen d’une drague en mer (à gauche – Virginia beach, USA) ou par camions (à droite- La Baule, France) ....	33
Illustration 24 - Exemples de gestion souples des cordons dunaires. ....	33
Illustration 25 - Schéma de principe d’un drainage de plage. ECOPLAGE ®.....	34
Illustration 26 - Système de by-pass .....	34
Illustration 27 - Schéma de fonctionnement d’un ouvrage longitudinal.....	35
Illustration 28 - Principe de fonctionnement d’un ouvrage transverse (épi).....	35
Illustration 29 - Principe de fonctionnement d’un brise-lames.....	36
Illustration 30 - Exemple de structures en géotextiles longitudinal en pied de dune (à gauche) ou en épi en T (à droite). ....	37
Illustration 31 – Conteneur géotextile placé longitudinalement en haut de plage pour armer et reconstituer le front de dune – source ©Géotube.....	37
Illustration 32 – Exemple de plan de nettoyage raisonné de la plage issu du guide méthodologique (Conservatoire du littoral, Rivages de France) .....	38
Illustration 33 – Reprofilage du haut de plage à St Hilaire de Riez en Vendée (mai 2012 – source Ouest France) .....	39
Illustration 34 - Installation de pieux hydrauliques en équerre sur la plage des Eloux à Noirmoutier (Fatal et al., 2010) .....	40

Illustration 35 – Exemple d’algues artificielles fixées sur le fond de la plage submergée à La Barbade (Atherley, 1989) .....	40
Illustration 36 – Couverture manuelle et mécanisée de branches de Pins en Aquitaine (ONF) .....	41
Illustration 37 – Casiers de ganivelles installées sur des formations dunaires méditerranéennes (Flèche de La Gracieuse, SDAGE RM&C, 2005) .....	42
Illustration 38 – Plantation d’oyat sur les dunes méditerranéennes espagnoles (UICN, 2012) .....	43
Illustration 39 – Canalisation de l’accès à la dune au moyen de ganivelles, Ricanto - Corse (Conservatoire du Littoral) .....	43
Illustration 40 : Avantages et limites des différentes solutions de protection contre la mer Source : Balouin et al., 2012, De La Torre et al., 2014. ....	45
Illustration 41 – Solutions techniques et analyse de leur pertinence pour la plage des Raisins Clairs. ....	48
Illustration 42 – Schéma illustrant le scénario de ré-ensablement et protection rigide du cimetière.....	50
Illustration 43 – Schéma illustrant le ré-ensablement (en jaune) et la solution rigide sur un profil transverse à la plage au niveau du cimetière. ....	52

# 1. Introduction

## 1.1. CONTEXTE

En août et septembre 2014, la mise à nu d'une partie du site archéologique de l'ancien cimetière colonial et l'apparition d'ossements sur la plage des Raisins Clairs à Saint-François (Illustrations 1 et 2) est venu rappeler l'importance de l'exposition à la houle, des mouvements sédimentaires de la plage et des phénomènes d'érosion qui en résultent.

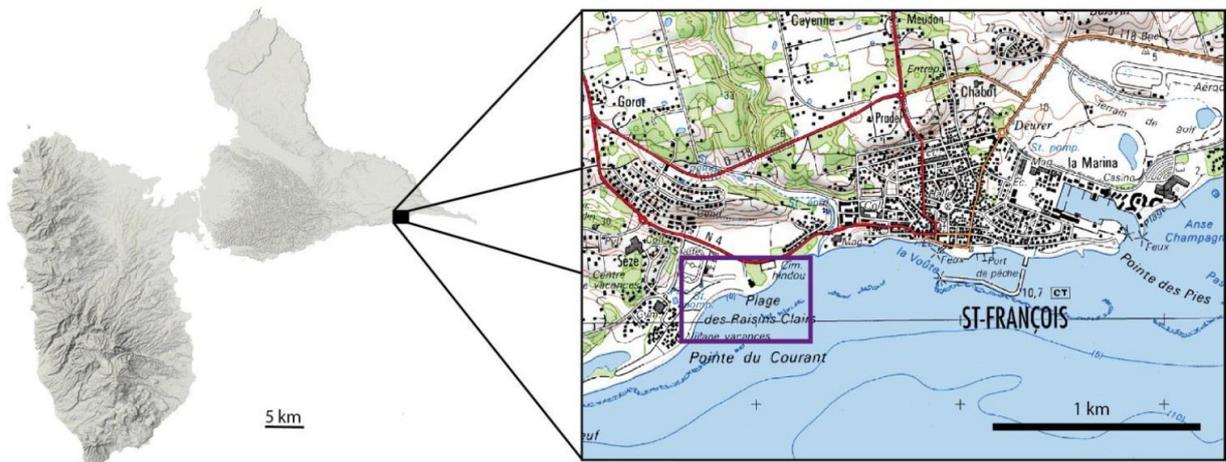


Illustration 1 – Localisation de la commune de Saint-François et le plage des Raisins Clairs.



Illustration 2 – Talus d'érosion au niveau du cimetière colonial (Oct 2014).

En octobre 2014, le BRGM est intervenu à la demande de la DEAL Guadeloupe (Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) et de la DAC de Guadeloupe (Direction des Affaires Culturelles) pour réaliser un diagnostic de l'érosion importante du littoral sur la plage des Raisins Clairs à Saint-François qui impacte particulièrement le site archéologique de l'ancien cimetière colonial (Legendre et De La Torre, 2014).

Les recommandations du BRGM à la suite de cette expertise mettaient en avant la nécessité de :

- Répondre de façon urgente à (1) la sécurisation des personnes en balisant le site pour en interdire l'accès et en installant une signalétique adaptée ; (2) la préservation de cet élément du patrimoine guadeloupéen grâce à la pose d'un géotextile adapté le long de la microfalaise et (3) la limitation des pertes de sables en ramassant manuellement les algues sur la plage des Raisins Clairs.
- Répondre sur du moyen terme à (1) la préservation du patrimoine guadeloupéen en l'occurrence le cimetière colonial et (2) à la préservation du caractère « naturel » de ce site présentant une forte attractivité touristique.

Entre 2015 et 2016, les premières mesures d'urgence ont été appliquées par la Direction des Affaires culturelles (DAC) sur le site : (1) balisage du site pour en interdire l'accès ; (2) installation d'une signalétique adaptée ; (3) pose d'un géotextile adapté le long de la microfalaise.

Aujourd'hui la Sous-Préfecture de Guadeloupe, la Direction des Affaires culturelles (DAC), la Région Guadeloupe et la commune de Saint-François désirent protéger sur du plus long terme le site archéologique de l'ancien cimetière colonial en conciliant préservation du site archéologique, aménagement touristique d'ampleur au niveau de l'ensemble de la zone et équilibre sédimentaire de la plage des Raisins Clairs ; et souhaitent ainsi confier au BRGM une mission d'appui et de conseil scientifique dans cette opération.

## 1.2. OBJECTIF DE L'ÉTUDE

L'objectif de la sous-préfecture de Guadeloupe, de la Direction des Affaires Culturelles (DAC), de la Région Guadeloupe et de la commune de Saint-François est de pouvoir concilier préservation du site archéologique de l'ancien cimetière colonial face aux aléas côtiers et équilibre sédimentaire de la plage tout en préservant le côté « naturel » de la plage des Raisins Clairs.

Un projet d'aménagement touristique de grande ampleur, est en cours de réflexion et les aménagements de protection du site archéologique de l'ancien cimetière colonial doivent dès à présent prendre en compte ces évolutions futures du site des Raisins Clairs, pour être le plus pérenne possible.

Le rôle du BRGM est de réaliser une mission de conseil scientifique et technique auprès de la commune de Saint-François pour la prise en compte de la dynamique côtière et de l'exposition à l'aléas érosion du trait de côte à l'échelle de l'ensemble de la plage ainsi que le projet d'aménagement touristique dans la définition de solutions de protection du site archéologique de l'ancien cimetière colonial de la plage des Raisins Clairs.

## 1.3. DONNÉES DE BASE

Cette étude se basera sur le diagnostic effectué en octobre 2014 par le BRGM, ainsi que sur une expertise complémentaire et plus fine directement sur site.

Cette étude se basera aussi sur les données issues de la première phase : *Définition et mise en place d'un réseau de suivi du trait de côte* du projet **Morphodynamique du littoral guadeloupéen** porté par la DEAL Guadeloupe, la Région Guadeloupe et le BRGM.

Le BRGM se basera aussi sur les connaissances scientifiques actuelles en termes de sédimentologie, de courantologie et de protections face au risque de recul du trait de côte.

## **1.4. L'ÉTUDE**

### **1.4.1. Programme de l'étude**

La mission du BRGM d'appui scientifique et technique se décline, dans la limite des domaines de compétences indiqués ci-avant, de cette manière :

- Tâche 1 : un état des lieux des données fondamentales disponibles (sédimentologie, courantologie, bathymétrie, ...) et des connaissances existantes en termes de dynamique côtière historique de la plage. Il n'est pas prévu d'élaboration de modèles analogiques ou numériques de la zone d'étude ;
- Tâches 2 : recommandations en termes de principes d'aménagement afin de favoriser l'équilibre sédimentaire de la plage en préservant le caractère « naturel » de la plage des Raisins Clairs pour mieux protéger le site archéologique de l'ancien cimetière colonial ;
- Tâche 3 : aide à la rédaction d'un cahier des charges relatif à la mise en œuvre d'aménagements de protection du site archéologique de l'ancien cimetière colonial.
- Tâche 4 : séances de travail et d'appui à la concertation (réunions) en lien avec la préservation du site archéologique de l'ancien cimetière colonial.

### **1.4.2. Contenu du rapport**

Le présent rapport concerne les tâches 1 et 2 du projet. Le rapport présentera successivement l'inventaire des données disponibles, le diagnostic du phénomène érosif, l'inventaire des solutions techniques à disposition, et les recommandations de gestion du site.

## 2. Recensement des données disponibles

La première tâche de la présente étude consiste à recenser les données disponibles nécessaires pour élaborer le diagnostic du phénomène érosif de la plage des raisins clairs. Ces données concernent les facteurs physiques générant l'évolution (houle, courants, niveaux d'eau, vents), mais également les caractéristiques morphologiques et sédimentologiques du site, ainsi que l'évolution historique de la plage.

### 2.1. FACTEURS PHYSIQUES MÉTÉO-MARINS

#### 2.1.1. Données marégraphiques

Les marées en Guadeloupe sont d'amplitude microtidale avec un marnage moyen de 30 cm (niveau de la moyenne des plus hautes mers journalières de 70 cm contre niveau de la moyenne des plus basses mers journalières de 40 cm) (SHOM, 2016). Le niveau moyen marin est de 55 cm. Les marées sont de type semi-diurne à inégalités diurnes : il y a deux pleines mers et deux basses mers par jour avec des hauteurs d'eau différentes.

Plusieurs points de mesures sont disponibles autour de la Guadeloupe :

- Station Deshaies (IPGP), depuis 2013 : <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=desh>
- Station Pointe-à-Pitre (SHOM), depuis 1983 : <http://refmar.shom.fr/fr/POINTE-A-PITRE>
- Station Désirade (IPGP), depuis 2010 : <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=desi>

#### 2.1.2. Données de houle

En Guadeloupe, 3 régimes de houle peuvent être rencontrés :

- La houle de nord-est à sud-est dite d'alizés est très fréquente mais peu énergique (période inférieure à 10 sec) ;
- La houle de nord à nord-ouest est peu fréquente (une dizaine d'occurrences par an environ) et d'énergie modérée. Elle est en général engendrée par des dépressions au nord de l'Atlantique ;
- La houle cyclonique est peu fréquente mais très énergique (période supérieure à 10 sec).

Plusieurs points de mesures sont disponibles autour de la Guadeloupe :

- Pointe de la Grande Vigie (2006- 2013) : <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/campagne/?idcampagne=093f65e080a295f8076b1c5722a46aa2> ;
- La Désirade (2002-2005) : <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/campagne/?idcampagne=093f65e080a295f8076b1c5722a46aa2> ;
- Pointe-à-Pitre (2002-2005) : <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/campagne/?idcampagne=093f65e080a295f8076b1c5722a46aa2>.

Dans le cadre du projet IOWAGA piloté par l'IFREMER, le modèle WW3 (WaveWatch III®) a été utilisé pour reconstituer les chroniques de vagues à partir des données historiques de vents. Ces données sont disponibles sur les caraïbes avec plusieurs résolutions, permettant l'analyse des conditions au large ou à proximité des côtes.

### 2.1.3. Données météorologiques

Ce sont les Alizés, vents de secteur dominant nord-est à est (et plus rarement sud-est) qui caractérisent le régime principal des vents en Guadeloupe. Ils soufflent en moyenne à une force de 4 à 5 sur l'échelle de Beaufort.

D'autres régimes plus ponctuels peuvent se rencontrer, notamment des vents de secteur sud-sud-est, de secteur sud à sud-ouest et de secteur nord. D'autres vents de force supérieure à 12 sur l'échelle de Beaufort peuvent survenir en cas de cyclones.

Plusieurs stations de mesures de Météo-France sont présentes à la Guadeloupe : Le Raizet, la Désirade, Le Moule, Baillif, Sainte-Rose et Grand-Bourg.

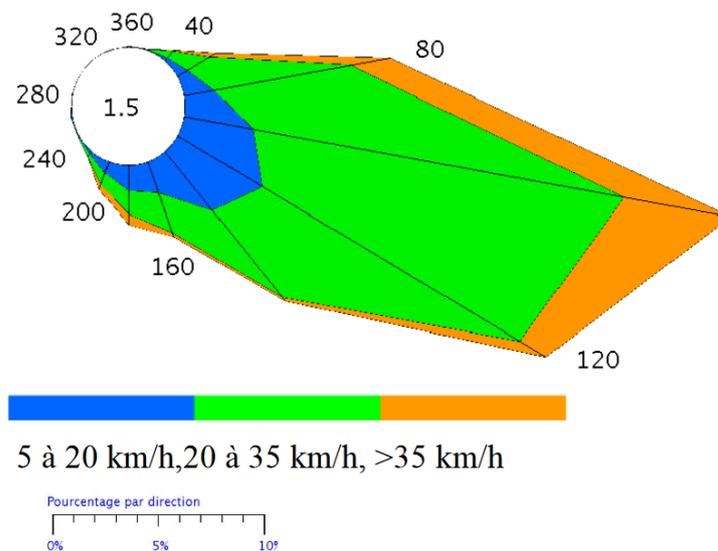


Illustration 3 – Rose annuelle des vents à la Désirade (Météo-France).

### 2.1.4. Données sur les cyclones

L'archipel de la Guadeloupe est parfois soumis lors de la saison cyclonique à des phénomènes de vent extrême. Le passage de ces événements, que ce soit une tempête tropicale ou un cyclone, génèrent une modification de la hauteur du plan d'eau. Les faibles pressions atmosphériques, les vents violents, les vagues et la morphologie des fonds marins créent alors une surcote pouvant avoir de graves conséquences sur la zone côtière.

Lors d'évènements extrêmes, les effets susceptibles de modifier la ligne de rivage peuvent se présenter sous deux formes : une avancée du trait de côte par apport de matières sur le littoral (d'origine fluviatile ponctuelle) ou au contraire un recul du trait de côte par perte de sédiments entraînés au large (dû au déferlement de la houle cyclonique).

Des phénomènes cycloniques intenses ont affecté la Guadeloupe et son littoral sur la période 1950-2013 (METEO FRANCE, 2009 et Huc et Etna, 2015), tant en matière de vents que de houle. C'est cette dernière qui peut être amenée à déplacer des masses sédimentaires importantes en cas de cyclone. Étant donné que la catégorie d'un cyclone indique la force de ses vents, ce ne sera pas forcément un critère à retenir pour considérer l'impact qu'il pourra avoir sur le littoral Guadeloupéen.

Selon Météo-France, depuis 1950, la Guadeloupe a été directement touchée par 8 cyclones (BAKER août 1950 ; BETSY août 1956 ; CLEO août 1964 ; INEZ septembre 1966 ; HUGO septembre 1989 ; LUIS septembre 1995 ; MARILYN septembre 1995 ; GEORGES septembre 1998) et 9 tempêtes tropicales. D'autres phénomènes dont le centre du cyclone est passé à plus de 100km de l'île ne figurent pas dans cette liste mais ont eu des effets significatifs sur la Guadeloupe : DAVID (août 1979), DEAN (août 2007), OMAR (octobre 2008). De nombreuses études ont été menées sur les cyclones et des banques de données sur les cyclones (trajectoires, intensité, houle cyclonique) ont été constituées (e.g. HURDAT, Tsunahoule, ...). Par ailleurs, les cyclones récents, tels que Dean ou Omar ont fait l'objet, par le BRGM, de suivis visant à caractériser leurs impacts sur le littoral de la Guadeloupe (Chauvet et al. 2007, Chauvet, 2008 ; Barras, 2008 ; Pedreros et Lecacheux, 2008).

Enfin, suite au projet Tsunahoule de l'Université des Antilles, une banque de données statistiques de cyclone a été mise en place (Krien et al, 2015). Elle fait aujourd'hui l'objet d'une étude méthodologique menée par l'IFREMER et le BRGM visant à établir les hauteurs de houle extrêmes atteintes lors d'événements cycloniques extrêmes.

## **2.2. DONNÉES MORPHOLOGIQUES, SÉDIMENTOLOGIQUES**

### **2.2.1. Données sur la position du trait de côte**

Une étude sur l'évolution de la position historique du trait de côte de la Guadeloupe a été menée par le BRGM en 2010. Elle utilisait alors les traits de côte digitalisés sur les scan 20 ©IGN de 1951 à 1956, le scan25 ©IGN de 1986, les trait de côte OPSIA de 1997 et l'Orthophoto IGN de 2004. Toutefois, la quasi-totalité de ces données (à l'exception de l'Orthophoto 2004) présentait une précision peu compatible avec une quantification fine des évolutions du trait de côte.

Une actualisation de cette étude sur l'évolution historique du trait de côte de la Guadeloupe est en cours (Guillen *et al.*, 2017), et de nouvelles données ont été utilisées : les campagnes photographiques IGN de 1950, 1998, 2004 et 2010, celle de 2013 issue d'images satellitaires Pléiades (Géosud).

Des données de position du trait de côte levées par GPS par le BRGM sont également disponibles en 2016 et 2017 pour différents sites pilotes dont celui de la plage des Raisins Clairs.

Pour les analyses diachroniques réalisées sur les côtes sableuses, deux indicateurs ont été utilisés : la limite de végétation et la position moyenne du jet de rive (interface terre-mer).



*Illustration 4 : Extraits des différentes campagnes photographiques utilisées dans l'étude BRGM 2017 – Plage des Raisins Clairs, commune de Saint-François (Fonds orthophotographiques de l'IGN© 1950, 1998, 2004, 2010 et orthosatellite Pléiades, 2013 – Guillen et al., 2017)*

### 2.2.2. Données topo-bathymétriques

Peu de données topo-bathymétriques sont disponibles sur la plage des Raisins Clairs. Le premier levé complet date de 2010, il s'agit du levé Lidar Litto3D qui est fourni au pas de 1 m avec une précision de l'ordre de 40 cm verticalement.

En 2016 et 2017, des profils topo-bathymétriques ont été acquis par le BRGM : un profil ouest au droit de la résidence Cristal Beach, un profil central, et un profil est au droit du cimetière colonial (voir localisation sur l'illustration 9 et illustration 10).

Enfin, en mars 2017, un levé par drone a été réalisé par le BRGM (cf. illustration 5). Ce levé fournit des images à très haute résolution de la plage mais également un levé altimétrique sous forme de Modèle Numérique de Surface.



*Illustration 5 – Levé drone de la plage des Raisins Clairs (Mars 2017, ©BRGM).*

### **2.2.3. Données de sédimentologie**

La carte des formations superficielles du plateau insulaire de Guadeloupe a été publiée par l'IFREMER en 2003 (Augris, 2003), à l'aide des données des campagnes océanographiques réalisées en 1985 et 1988.

Il s'agit d'une cartographie au 1/ 100 000 qui met en évidence la présence de fonds meubles sableux sur une grande partie du plateau insulaire (Illustration. 6).





### 3. Diagnostic du phénomène érosif de la baie des Raisins Clairs

#### 3.1. GÉOMORPHOLOGIE DE LA BAIE DES RAISINS CLAIRS

La géomorphologie est caractérisée par une bande récifale interrompue par 2 passes relativement profondes (6 m pour la passe Ouest et 10 m pour la passe Est, cf. illustration 7). Cette bathymétrie est à l'origine de la formation en double baie du site. En effet, la protection de la zone centrale par le récif, et la diffraction de la houle dans les passes entraînent la mise en place d'une zone de convergence, à l'origine de la pointe centrale.

Dans un contexte d'abondance sédimentaire, cette morphologie de la baie devrait entraîner une avancée de la pointe centrale.

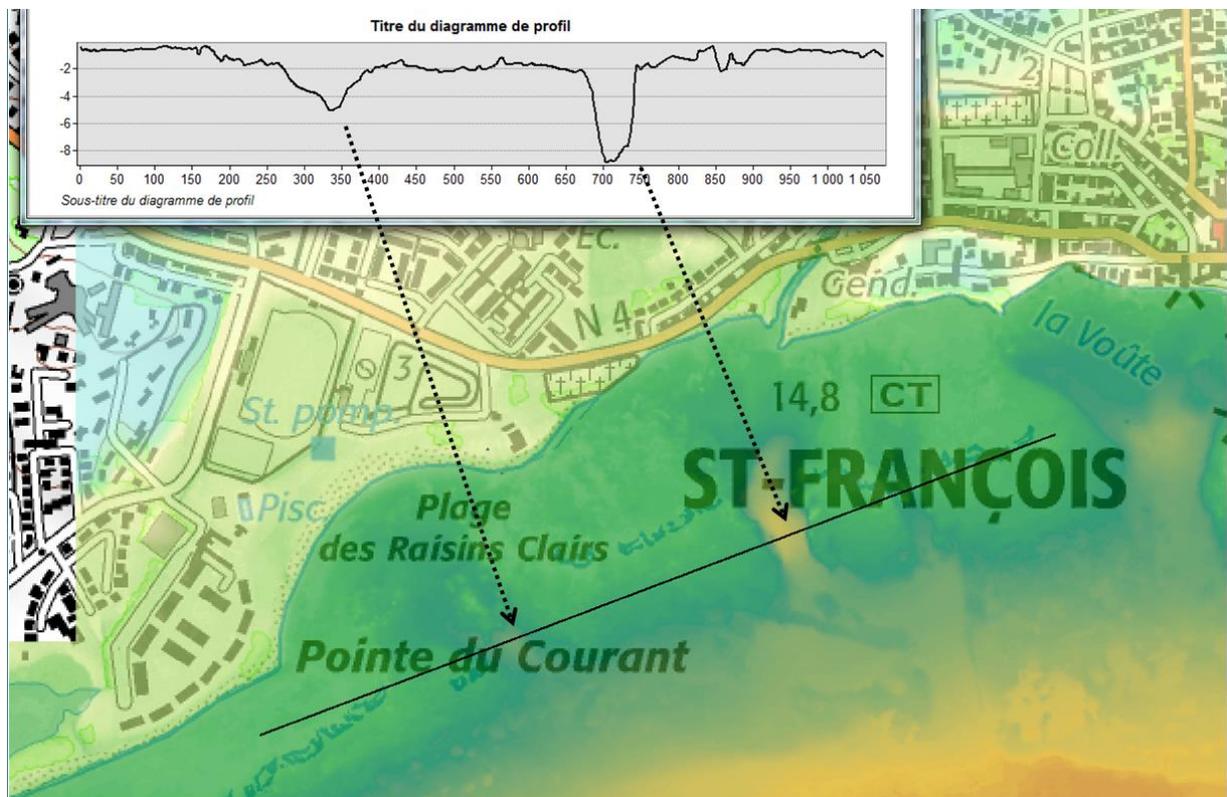


Illustration 7 – Morphologie et bathymétrie de la baie des Raisins Clairs (Levé Litto 3D 2010 ©IGN)

#### 3.2. EVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE

Selon les environnements, la définition du trait de côte peut varier entre plusieurs indicateurs. Les indicateurs retenus ici sont la limite de végétation qui traduit généralement le phénomène érosif à long terme, et la limite du jet de rive, plus variable dans le temps et qui traduit des évolutions à plus court terme du trait de côte: saisonnières et/ou interannuelles.

### 3.2.1. Évolution historique

L'analyse des positions successives du trait de côte depuis 1950 met en évidence un recul chronique de la plage. Le recul entre 1950 et 1998 est de l'ordre de 40 m sur la totalité de la baie. L'évolution à moyen-terme depuis 1998 illustre une plus grande variabilité, que l'on regarde la limite de végétation ou le jet de rive. Cette variabilité plus forte traduit les évolutions saisonnières d'avancée/recul du trait de côte.

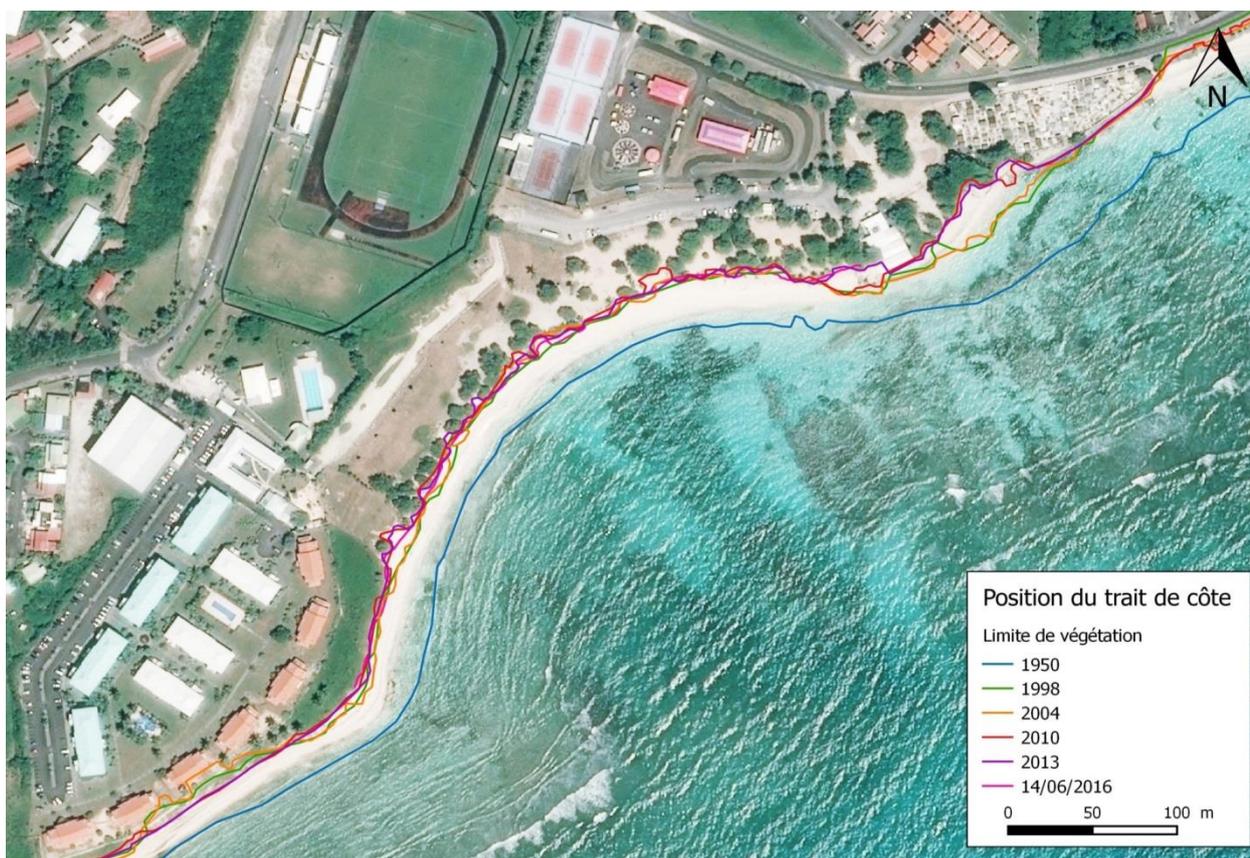


Illustration 8 – Position du trait de côte (limite de la végétation) de 1950 à 2016, Guillen et al, 2017.

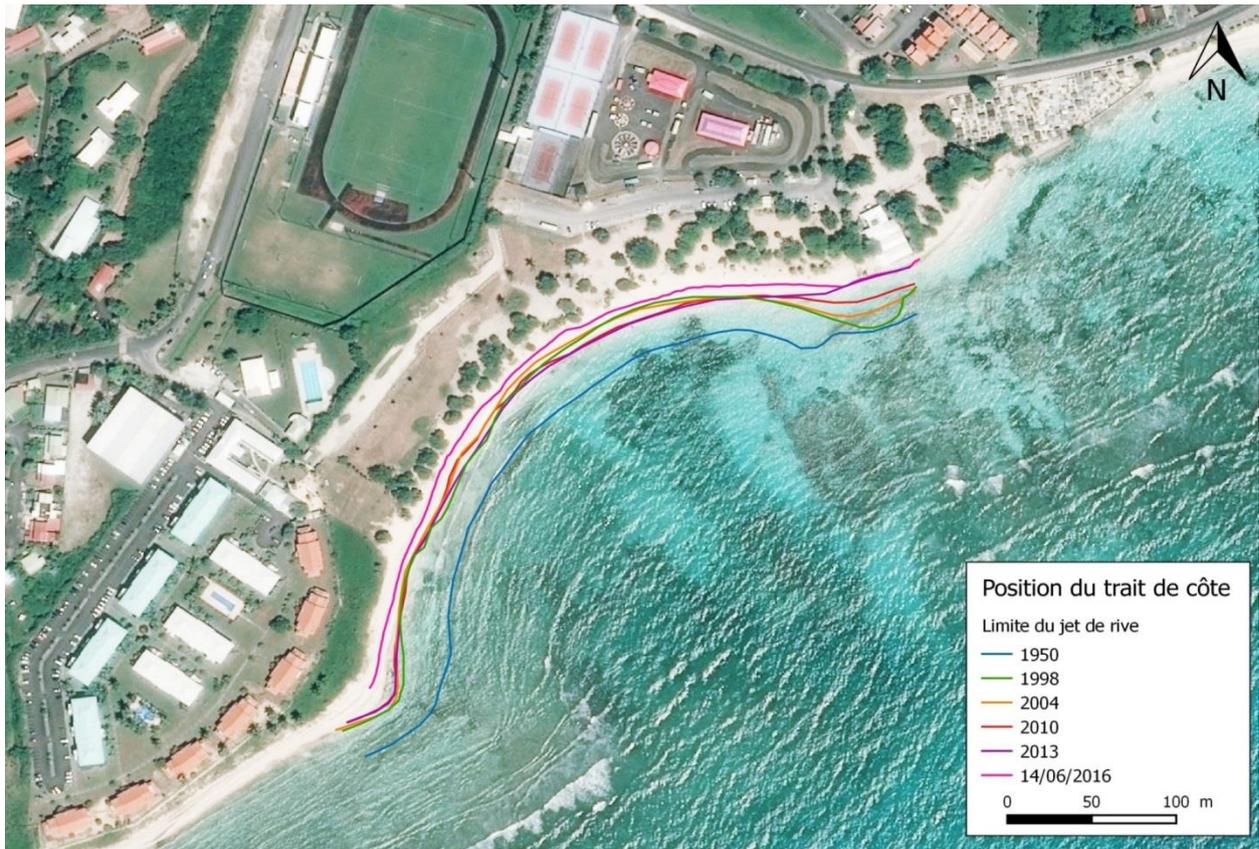


Illustration 9 – Position du trait de côte (jet de rive) de 1950 à 2016, Guillen et al, 2017.

Le taux moyen de recul du trait de côte de la plage des Raisins Clairs sur le long terme (1950-2016) est de l'ordre de 0.4 m/an (Guillen et al., 2017). Sur la période 1998-2016, plus courte, ce taux moyen est de l'ordre de 0.2 m/an, ce qui traduit plus une variabilité saisonnière et/ou interannuelle qu'une diminution effective du recul.

### 3.2.2. Évolution récente

Sur la période récente (2016-2017), les évolutions mettent en évidence une très forte variabilité de la largeur de plage, avec une forte mobilité de la limite « jet de rive ». Ainsi, on note un recul important entre juillet 2016 et mars 2017, et une stabilité, voire légère avancée entre mars et juin 2017 (cf. Illustration 10 et Illustration 11). La limite de végétation est en revanche assez stable sur ces périodes temporelles courtes. Seul un recul modéré est observé au droit du cimetière colonial entre mars et juin 2017.

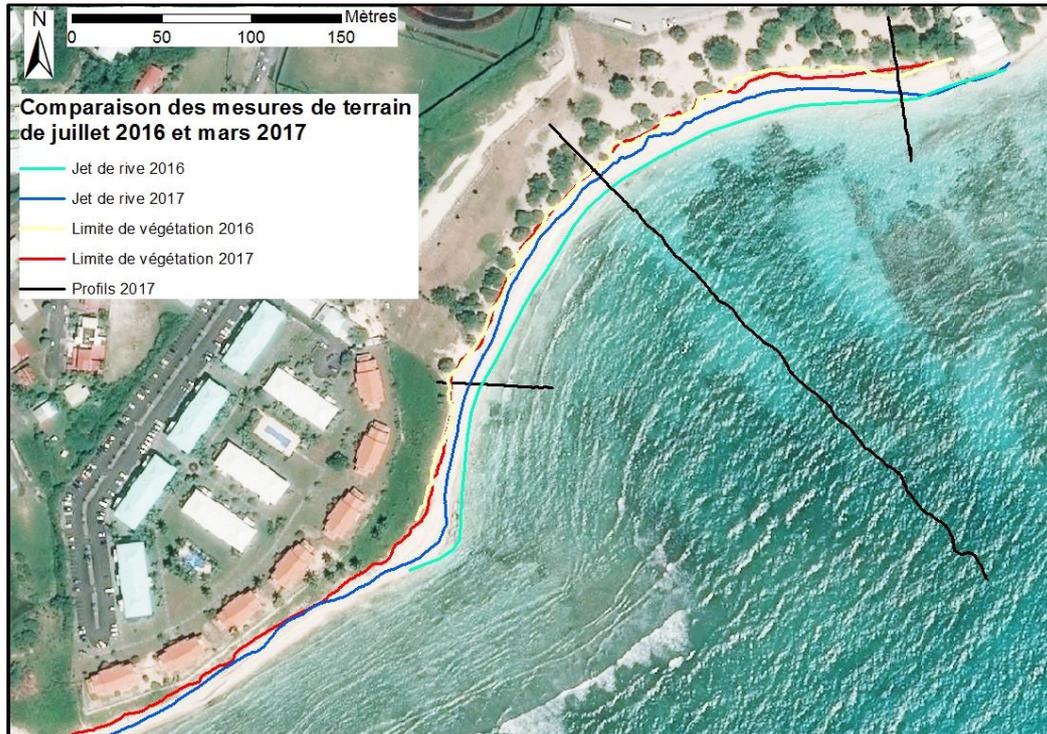


Illustration 10 – Evolution de la position du trait de côte (limite de végétation et jet de rive) entre juillet 2016 et mars 2017.



Illustration 11 - Evolution de la position du trait de côte (limite de végétation et jet de rive) entre mars 2017 et juin 2017.

Cette variabilité saisonnière de la plage est importante. La position du trait de côte peut ainsi varier d'une dizaine de mètres au cours de l'année comme cela est observé entre octobre 2014 et février 2015 (cf. Illustration 11).



**Oct 2014**



**Photographie DAC, 2015**

**Fév 2015**



Illustration 12 – Images satellitales (©GoogleEarth) illustrant la variabilité saisonnière de la plage entre Oct 2014 et Fev 2015.

### 3.3. EVOLUTION ÉVÉNEMENTIELLE : EXEMPLE DU CYCLONE DEAN

L'ouragan Dean a traversé l'Arc des Petites Antilles le 17 Aout 2007, avec un passage de l'œil au sud de l'île de la Martinique (Chauvet *et al.*, 2007).

En Guadeloupe, le cyclone s'est manifesté par des vents et des pluies relativement modérées, avec des dégâts associés peu importants excepté sur les cultures. En revanche, malgré la distance, une forte houle de Sud-Est s'est propagée jusqu'en Guadeloupe et a endommagé les côtes exposées (notamment la côte au vent de la Basse-Terre, le sud de Grande-Terre, la Désirade, Marie-Galante et les Saintes).

Sur la commune de Saint-François, et en particulier sur la plage des Raisins Clairs, des dégâts ont été observés, notamment sur le cimetière municipal (cf. Illustration 13). Une érosion de la plage a été constatée (cf. Illustration 14). Toutefois, le recul du trait de côte est resté modéré (estimé à 3 m). L'inondation du haut de plage est entrée d'environ 80 m dans les terres (cf. Illustration 15).

Il convient de noter que sur des plages plus exposées, comme la plage de Grande-Anse, des reculs de l'ordre de 20 m ont été constatés lors de cet événement.



Illustration 13 – Coupure de presse suite au passage de Dean en 2007.

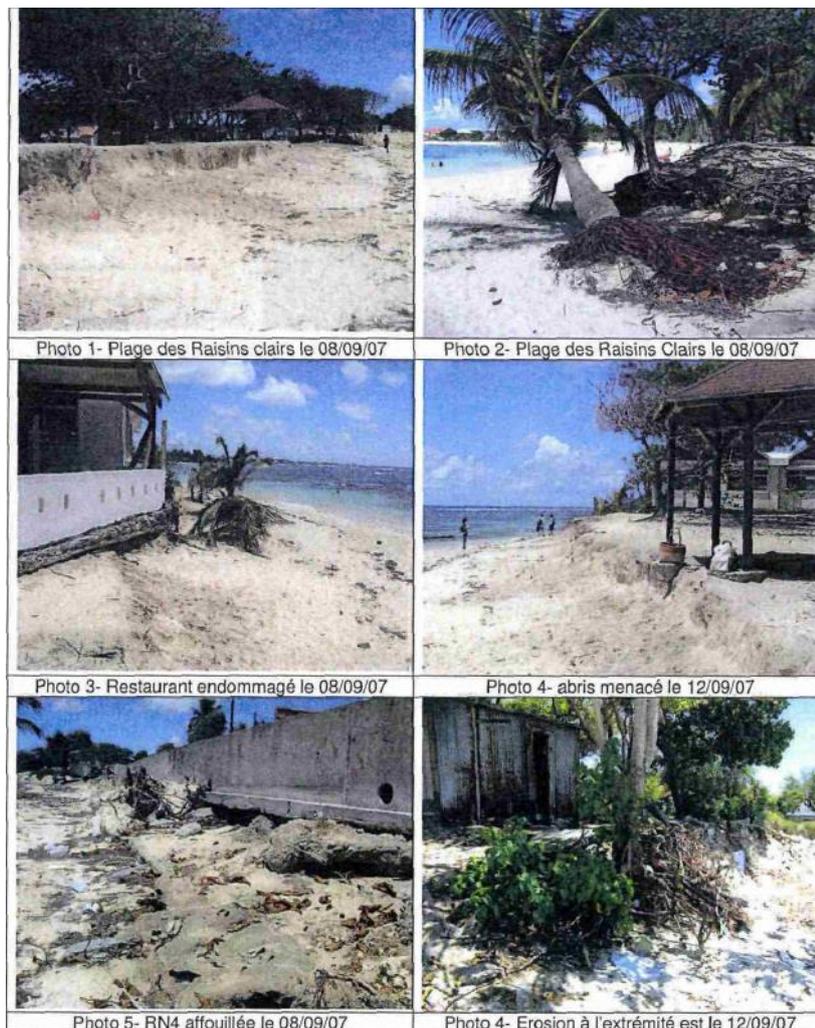


Illustration 14 – Photographies de la plage de Saint-François après le passage de Dean (Chauvet et al., 2007).



Illustration 15 – Levé du trait de côte (08/09/2007) et limites de submersion suite au passage de Dean (Chauvet et al., 2007)

### 3.4. EVOLUTION TOPO-BATHYMÉTRIQUE RÉCENTE

Lors des campagnes de mesures 2016 et 2017, des profils topo-bathymétriques ont été réalisés de manière à pouvoir quantifier les variations verticales de la plage et de l'avant-plage, ainsi que les volumes potentiellement mobilisés. Les illustrations 16 à 17 présentent l'évolution morphologique de ces profils depuis 2010.

Dans la partie ouest de la plage (cf. Illustration 16), on note un recul progressif du profil qui traduit une translation du prisme sableux vers la terre. Ce recul atteint des valeurs de l'ordre de 10 m entre 2010 et 2016. La variabilité saisonnière est bien visible avec une avancée de plusieurs mètres entre mars et juin 2017. Dans le centre de la baie le constat est identique, même si la variabilité 2016-2017 semble plus modérée (cf. Illustration 17). Enfin, dans le secteur est (cf. Illustration 18), l'évolution est sensiblement différente. La translation du profil n'est pas observée, mais on note l'apparition d'un front d'érosion constitué d'une microfalaise d'environ 1.5 m de haut au droit du cimetière.

On note également que sur les trois profils, l'érosion concerne la partie aérienne de la plage, mais également les petit-fonds jusqu'à des profondeurs de 1.5 à 2 m.

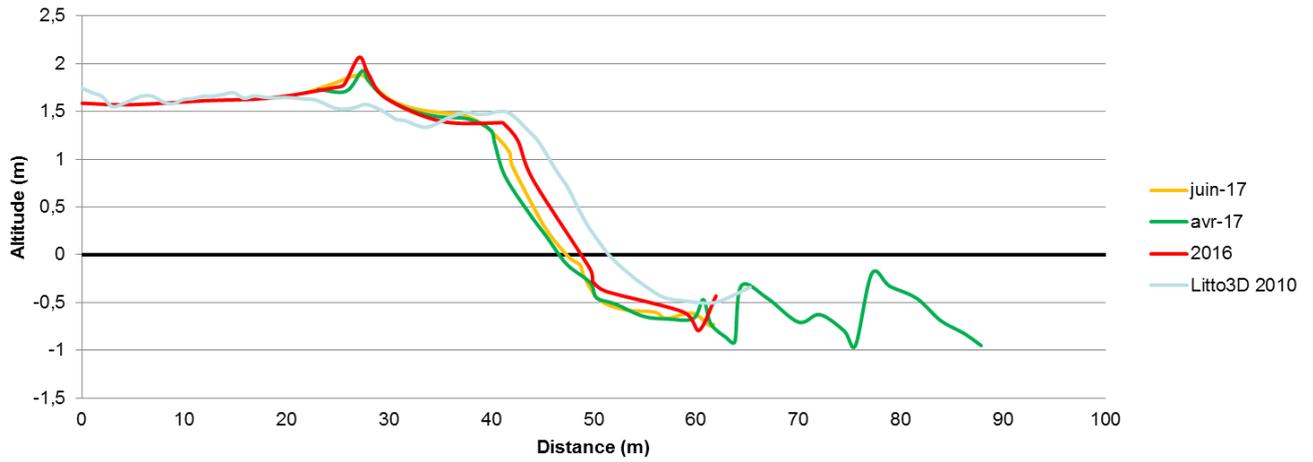


Illustration 16 – Evolution topo-bathymétrique du profil ouest de la plage des Raisins Clairs.

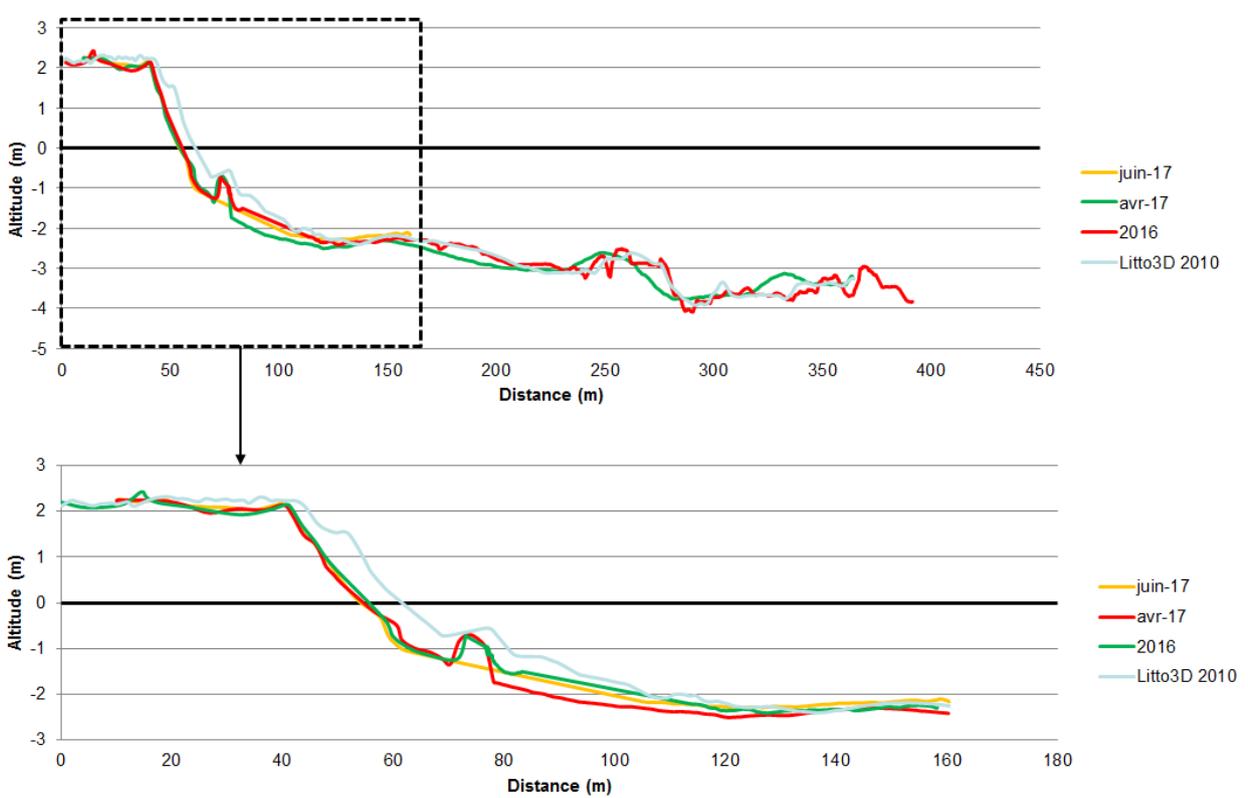


Illustration 17 – Evolution topo-bathymétrique du profil central de la plage des Raisins Clair (en haut : profil complet ; en bas : zoom sur le haut du profil).

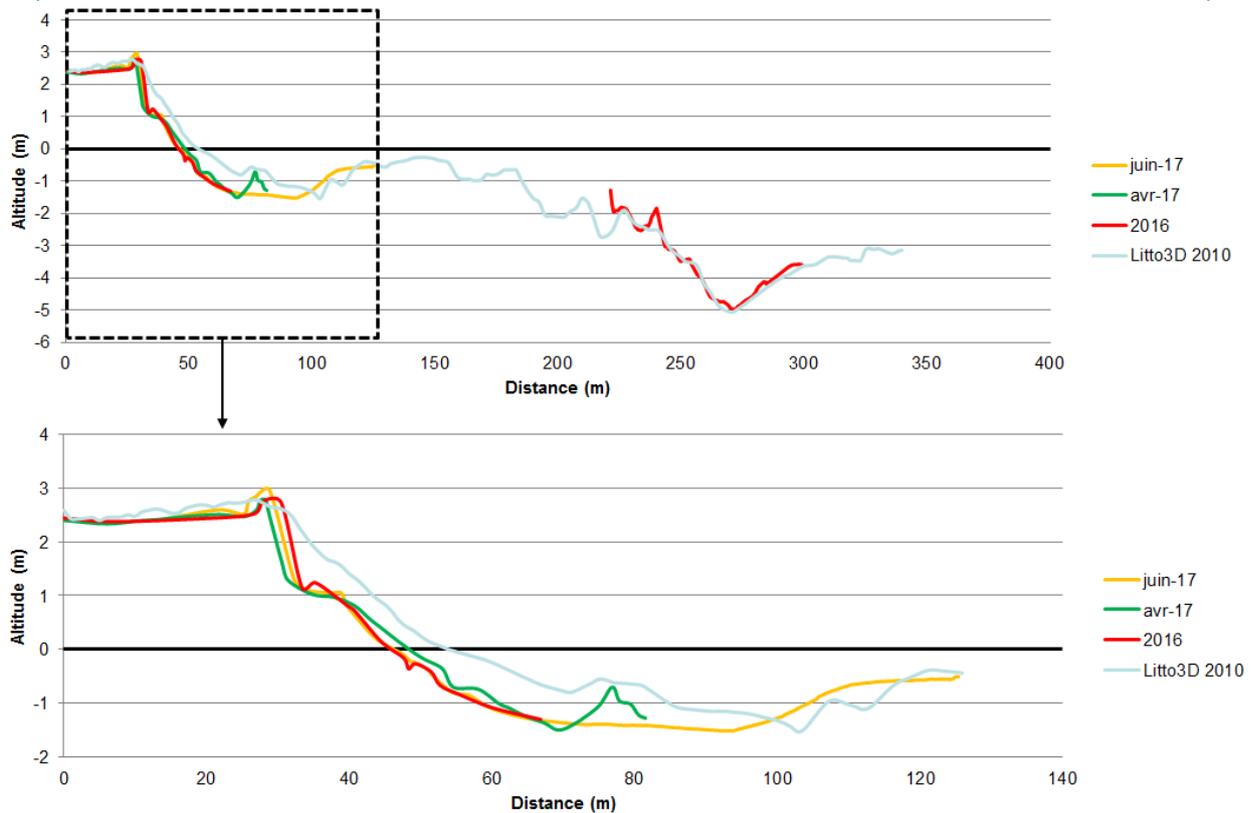


Illustration 18 – Evolution topo-bathymétrique du profil Est de la plage des Raisins Clair (en haut : profil complet ; en bas : zoom sur le haut du profil).

### 3.5. BILAN SÉDIMENTAIRE

L'acquisition par drone d'un modèle numérique de surface (altimétrie) de la plage en 2017 permet de quantifier la variation volumétrique du site depuis 2010. L'illustration 19 présente ce bilan.

Le phénomène érosif, tel qu'illustré par les profils et la position du trait de côte, concerne l'ensemble de la plage entre 2010 et 2017. Toutefois, c'est principalement la partie est du site qui est touchée, avec une variation altimétrique supérieure à 1 m (jusqu'à 1.7 m). Le volume érodé sur la seule partie du cimetière colonial est de l'ordre de 600 m<sup>3</sup>, l'érosion globale de la plage des Raisins Clairs correspondant à une perte sédimentaire de l'ordre de 2000 m<sup>3</sup>.

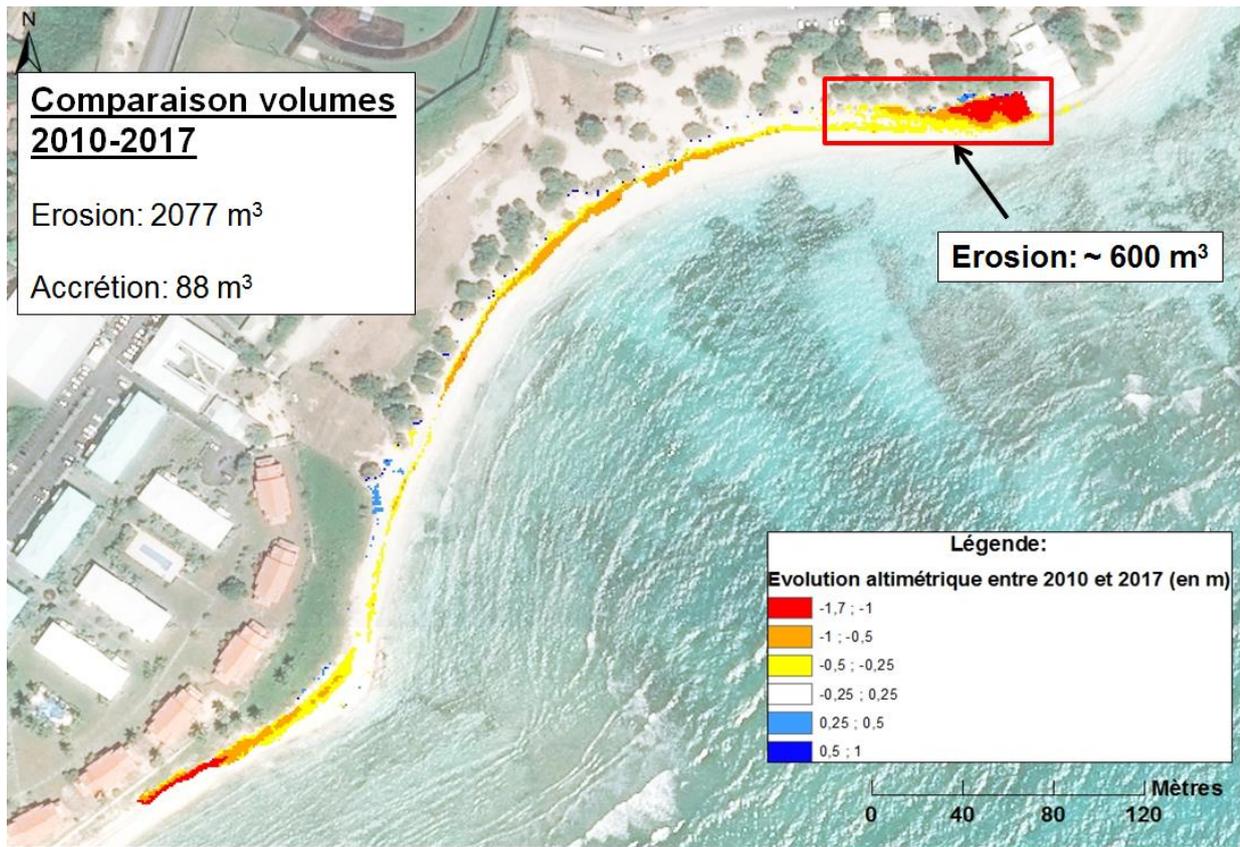


Illustration 19 – Bilan sédimentaire de la plage des Raisins Clairs entre 2010 et 2017.

### 3.6. SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT DE LA PLAGE

L'analyse des conditions hydrodynamiques au large de Saint-François et des évolutions morphologiques passées permet de dresser un schéma du fonctionnement de ce site (cf. Illustration 20 et Illustration 21).

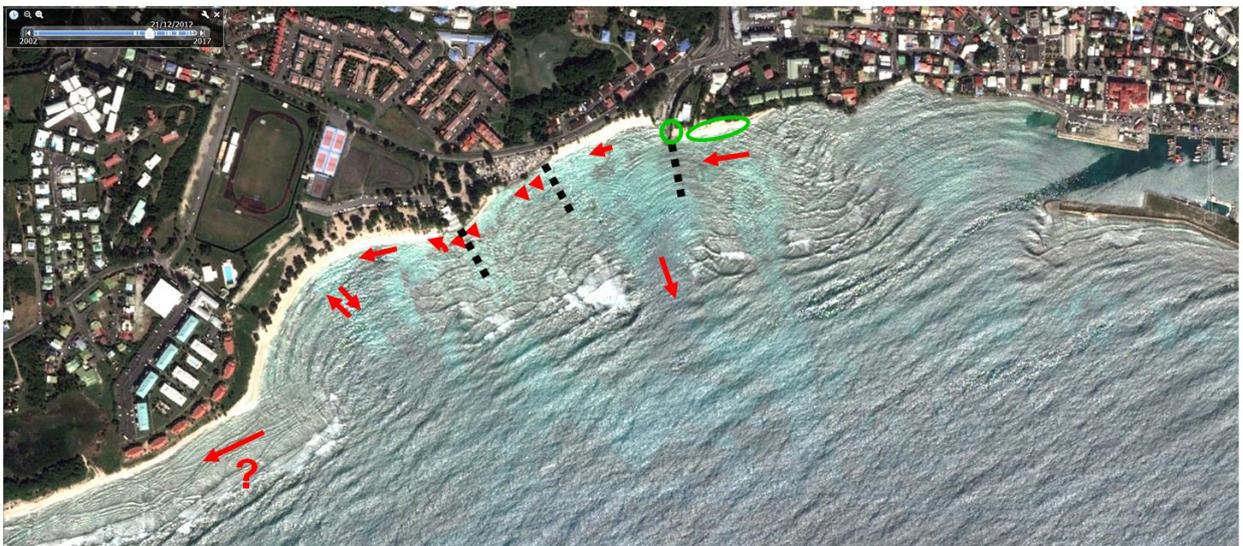
Les facteurs d'évolution de la plage sont principalement la houle et sa déformation à proximité de la côte, et les effets du vent, notamment les alizés. En raison de la morphologie de l'avant-côte et des passes qui interrompent le récif, la houle pénètre dans les passes et se diffracte dans le lagon, formant une onde qui arrive globalement perpendiculairement à la côte. En raison d'une prédominance des houles d'ESE, un courant lié aux vagues et à leur déferlement se forme, circulant proche du rivage d'est en ouest (cf. Illustration 20). Ce courant est par ailleurs renforcé localement par les vents d'alizés. Ces vents sont particulièrement forts à l'ouest au-delà de la pointe des courants, moins abritée.

Enfin, en raison des enrochements du cimetière municipal et du restaurant « Les Raisins Clairs », on observe localement des phénomènes de réflexion de la houle sur les ouvrages. Les vagues arrivant sur les ouvrages sont réfléchies par la surface et repartent vers la mer.



- Circulation liée aux vagues
- Effet du vent

Illustration 20 – Schéma de fonctionnement de l'hydrodynamique liée aux vagues et au vent dans la baie de Raisins Clairs (les triangles rouges indiquent la réflexion de la houle sur les ouvrages).



- Transport sédimentaire
- Zones d'accumulation

Illustration 21 – Schéma de fonctionnement du transport sédimentaire dans la baie de Raisins Clairs (les pointillés noirs indiquent les limites perméables des différentes sous-cellules sédimentaires sur le site).

Ces facteurs d'évolution que sont les vagues et le vent vont générer un transport sédimentaire résiduel sur le littoral qui est globalement orienté d'est en ouest (cf. Illustration 21). A ce sens général de la dérive littorale s'ajoute un transport plus événementiel transverse lié à la présence des passes, et un transport plus localisé au droit des ouvrages vers le large, induisant un abaissement progressif de la plage.

Ce transport sableux est localement interrompu par les ouvrages présents. On observe ainsi une accumulation sur la plage de la gendarmerie où le sable transitant d'est en ouest est piégé par la digue est de la Ravine Cayenne (cf. Illustration 21). Les vagues entrant dans la passe provoquent également une entrée massive de sable dans l'embouchure de la ravine qui se comble régulièrement. À l'ouest de la ravine, le sable se déplace vers l'ouest et est piégé au niveau de l'enrochement du cimetière qui constitue désormais un obstacle, n'ayant plus de plage devant lui. L'enrochement du restaurant joue le même rôle, générant un déficit d'apports sableux en aval-transit au niveau du cimetière colonial.

La problématique d'érosion de la plage de raisins Clairs réside en conséquence d'un déficit chronique en sédiment, phénomène naturel qui affecte la quasi-totalité des littoraux, localement accru par les ouvrages qui viennent perturber le transit naturel. Les houles cycloniques qui peuvent pénétrer dans les passes et toucher le littoral viennent ponctuellement impacter le haut de plage, mais ne constituent pas le mécanisme prédominant d'érosion sur la plage.

## 4. Inventaire des solutions techniques de lutte contre l'érosion

La prise en compte des aléas côtiers (érosion, submersion marine) dans l'aménagement du littoral, en vue de préserver des enjeux, peut se décliner en quatre types de stratégies (stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, 2012) :

- le recul stratégique ou la relocalisation des biens et des services ;
- la non-intervention ou le laisser-faire ;
- l'intervention limitée ou l'accompagnement des phénomènes par l'emploi de solutions souples ;
- le maintien du trait de côte (par des techniques douces et/ou dures de modification ou de blocage du transit ou par des techniques de restauration et renforcement du fonctionnement naturel).

Le choix d'une stratégie repose sur l'analyse du diagnostic sur les aléas existants et l'exposition des enjeux présents, et doit, pour la mise en œuvre d'une politique concertée et durable de gestion des risques côtiers, répondre aux principes suivants (MIAL, 2003) :

- **principe 1** : il est naturel que le littoral bouge et il est illusoire d'espérer le fixer partout ;
- **principe 2** : le littoral est un système global et les réponses à l'érosion ne peuvent être apportées durablement qu'à l'échelle minimale de la cellule sédimentaire ;
- **principe 3** : Il est indispensable de respecter et de restaurer un espace de liberté pour le littoral ;
- **principe 4** : le recul stratégique doit être favorisé car il est la réponse la plus durable à l'érosion ;
- **principe 5** : le recul stratégique et la restauration du fonctionnement naturel sont les seuls modes de gestions envisageables pour les secteurs à dominante naturelle ;
- **principe 6** : la modification du transit doit être réservée aux secteurs à enjeux forts et inamovibles ;
- **principe 7** : la protection des cordons dunaires existants (notamment contre la sur-fréquentation) est essentielle car ils sont nécessaires au bon fonctionnement du système littoral ;
- **principe 8** : les plages et les ouvrages de protections nécessitent un entretien et un suivi qui doivent être pris en compte dès la mise en place du mode de gestion ;
- **principe 9** : la surveillance et le suivi du littoral doivent être renforcés et généralisés pour mieux déterminer cet espace de liberté et être capable de prévoir les évolutions futures du littoral ;
- **principe 10** : des études visant à comprendre et modéliser le fonctionnement global du littoral doivent être lancées.

### 4.1. LES TECHNIQUES D'ADAPTATION CONTRE LA MER ET LEURS LIMITES

#### 4.1.1. La relocalisation des biens et des services

Cette méthodologie de gestion de l'espace consiste à déplacer, à reculer, les enjeux présents sur le territoire à une distance suffisante, vers l'arrière-pays, afin de mettre à l'abri ceux-ci des risques qu'ils peuvent encourir face à la mer. Selon le guide méthodologique des PPR littoraux, le repli stratégique peut être considéré comme une technique de protection douce, qui consiste à accepter un recul limité et à concentrer les actions de prévention en arrière du trait de côte.

L'avantage de cette action est qu'elle s'inscrit dans la durée, elle assure une protection optimale à long terme des enjeux. Les principales contraintes de cette stratégie de gestion sont liées au coût de relocalisation des biens, et à l'existence de terrains disponibles pour cette relocalisation. C'est pourquoi cette problématique doit être intégrée dans les documents d'urbanisme en amont. Dès lors que des enjeux sont exposés aux aléas maritimes, une analyse coûts-avantages et une analyse multi-critères des éléments non-monétaires à long-terme doivent-être menées pour évaluer systématiquement la pertinence de cette solution qui reste la plus durable.

#### 4.1.2. Le laisser faire

Cette méthode consiste à suivre l'évolution naturelle sans intervenir. Il s'agit de considérer les fluctuations de la côte comme un phénomène naturel avec lequel il faut composer plutôt que tenter de s'y opposer. Cette stratégie, généralement préconisée dans les secteurs où les enjeux ne justifient pas une intervention, présente l'avantage de n'entraîner aucun coût de gestion. Dans le cas où des enjeux seraient exposés aux phénomènes de submersion ou d'érosion, la décision du laisser-faire implique la disparition à plus ou moins long-terme de ces enjeux. Le laisser-faire implique toutefois une observation des sites concernés. Cette solution n'est pas forcément la moins couteuse et une analyse coût-bénéfice doit être réalisée.

#### 4.1.3. L'intervention limitée ou l'accompagnement par des solutions souples

Elles consistent à composer avec le milieu naturel, en laissant un degré de liberté encore naturel au trait de côte. La mise en place de ces techniques nécessite une évaluation des effets sur la propagation de la houle à l'échelle de la cellule sédimentaire.

#### L'alimentation artificielle des plages en sédiments (ou rechargement de plage)

Cette méthode a pour objectif de compenser le déséquilibre du littoral résultant d'une érosion naturelle ou d'une action humaine. Le but est d'alimenter les plages en matériaux (sables, galets) exogènes à la cellule sédimentaire, par camion, dragues en mer, etc. (cf. Illustration 22). Chaque intervention doit être adaptée en fonction de la nature et de la taille des matériaux, la bathymétrie, les peuplements des petits fonds, le régime de houle, les courants littoraux, etc. Le rechargement permet la restauration d'un espace « tampon » permettant la protection vis-à-vis des agents d'érosion, et par conséquent l'élargissement de la plage et la restauration des usages et des enjeux. Cette méthode demande une planification et un suivi à long terme. Le rechargement de plage n'a pas pour but de stopper le phénomène d'érosion, mais il permet de le limiter et d'agir sur ses effets.



*Illustration 22 - Exemple de rechargement en sable au moyen d'une drague en mer (à gauche – Virginia beach, USA) ou par camions (à droite- La Baule, France)*

## La gestion souple des dunes

Les dunes sont des accumulations sableuses littorales. Ces espaces, mobiles par nature, sont fragilisés par des pressions multiples et leur dynamique est essentiellement liée à l'action du vent. Le principe de base du contrôle de la mobilité des dunes est la modération de l'érosion éolienne par réduction de la vitesse du vent. Ce contrôle de la mobilité des dunes peut être obtenu par différentes techniques : plantations végétales, rideaux brise-vent ou ganivelles, couverture de débris végétaux, canalisation de la fréquentation (cf. Illustration 23). Il s'agit d'une mesure de protection durable qui augmente la capacité naturelle de résistance de la plage et constitue également une protection contre les attaques des vagues tout en préservant le caractère naturel du littoral.



*Illustration 23 - Exemples de gestion souples des cordons dunaires.*

La reconstitution d'une dune est un phénomène qui peut prendre plusieurs années. La reconstitution artificielle d'un cordon dunaire, souvent associée à une ou plusieurs techniques de gestion de l'avant-dune (ganivelles, végétalisation), permet de restaurer les échanges naturels plage/dune, tout en constituant un ouvrage souple et naturel de protection contre les phénomènes d'érosion et de submersion.

## Les systèmes de drainage de plage

Le drainage de plage a pour objectif d'abaisser le toit de la nappe aquifère présente sous la plage et ainsi favoriser l'infiltration de la nappe de retrait du jet de rive. L'eau redescendant sur la plage s'infiltré, perdant de son énergie et favorisant ainsi le dépôt du sédiment charrié (cf. Illustration 24). Le système de drainage est constitué de drains horizontaux installés en profondeur et placés parallèlement au trait de côte. Ces drains sont connectés à une station de pompage qui recueille et évacue l'eau vers la mer ou vers des stations de recyclage. L'installation du système nécessite une perméabilité suffisante du sédiment, et il reste peu adapté aux plages très exposées aux vagues ou présentant d'importants mouvements de l'estran. Ce système tend à piéger le

sédiment présent sur place mais ne résout pas le problème de déficit sédimentaire. Il est par conséquent souvent associé à un rechargement de plage. Ces systèmes de drainage fonctionnent lorsque les nappes d'eau ou le jet de rive sont responsables de l'érosion.

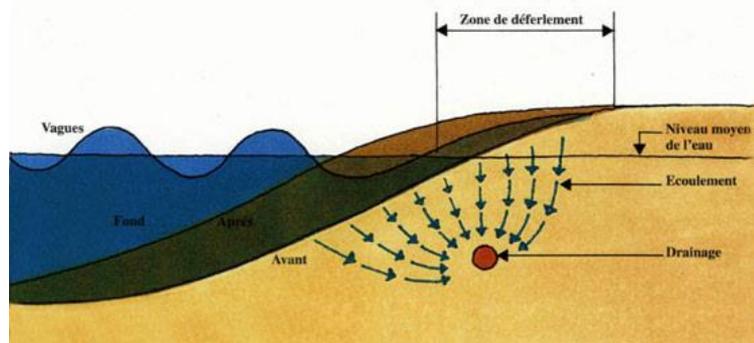


Illustration 24 - Schéma de principe d'un drainage de plage. ECOPLAGE ®

### Le « by-passing » ou le rétablissement du transit littoral

Le « by-passing », ou pontage sédimentaire, est le transfert artificiel de sédiments leur permettant de franchir un obstacle naturel (cap rocheux, débouché d'un cours d'eau) ou anthropique (jetée, épi, cf. Illustration 25). Il peut être hydraulique avec l'installation d'un système de succion d'un mélange d'eau et de sable et le refoulement de ce mélange en aval de l'ouvrage, ou mécanique par acheminement du sable d'une zone à l'autre par camions ou par des moyens nautiques (dragues). Une bonne compréhension de la dynamique sédimentaire du site, et en particulier l'importance de la dérive littorale, est primordiale avant de mettre en place un « by-passing ». En fonction des conditions locales, les coûts peuvent être relativement importants, et les incidences sur la biodiversité sont à analyser au cas par cas.

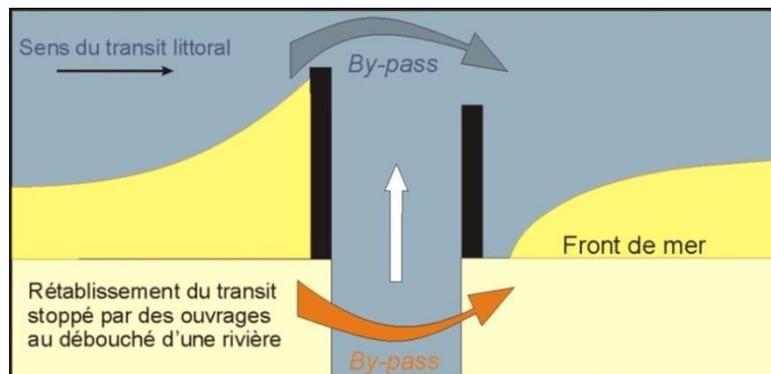


Illustration 25 - Système de by-pass

#### 4.1.4. Le maintien du trait de côte par des techniques dures

Ces méthodes consistent à mettre en place des structures solides dont l'action est de maintenir le trait de côte. La mise en place de ces techniques nécessite une évaluation des effets sur la propagation de la houle à l'échelle de la cellule sédimentaire.

#### Les ouvrages longitudinaux

Ces ouvrages (perrés, digues, butées de pied), en pierre maçonnée ou en enrochements, sont disposés le long du trait de côte, le plus souvent en pied de dune ou de falaise, pour contrer

l'érosion côtière (cf. Illustration 26). Ils agissent comme une barrière de protection face à l'action des vagues et sont souvent utilisés en dispositif de protection d'urgence suite à une tempête. La limite principale de ces ouvrages réside dans la réflexion de la houle par ces murs de protection, qui amplifie l'érosion en pied d'ouvrage, et entraîne une disparition progressive de la plage par abaissement des fonds. Ces ouvrages sont inefficaces quand l'érosion est due à un transport de sédiments parallèle au rivage. Par ailleurs, ils constituent des points durs qui figent le littoral, tout en présentant un fort risque de rupture lors des tempêtes. Il est également possible d'observer un accroissement de l'érosion de part et d'autre de l'ouvrage dû à la diffraction ou au contournement des vagues ainsi qu'au droit de l'ouvrage dû à la réflexion des vagues.

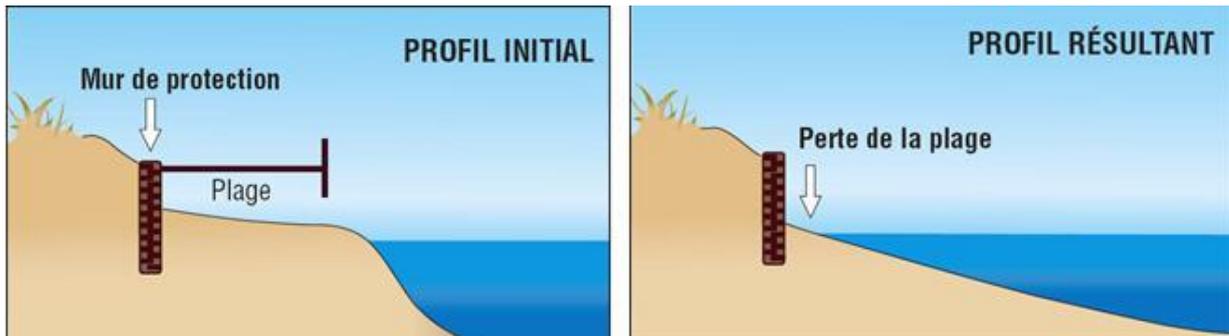


Illustration 26 - Schéma de fonctionnement d'un ouvrage longitudinal.

### Les ouvrages transversaux

Il s'agit des épis, le plus souvent en enrochements ou en géotextile, positionnés perpendiculairement au trait de côte. L'objectif principal de ces ouvrages est l'interruption du transit sédimentaire littoral. On obtient donc un élargissement de la plage en amont de l'ouvrage qui peut être rapide si la dérive littorale locale est importante. Cette accumulation à l'amont s'effectue toutefois au détriment de la zone aval où l'érosion est accrue (cf. Illustration 27). Par ailleurs, ce type d'ouvrage est inefficace si l'évolution est dominée par du transport sédimentaire dans le profil (de la côte vers le large).

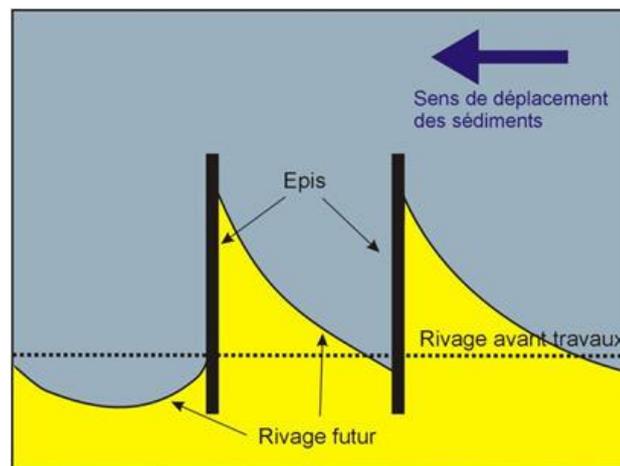


Illustration 27 - Principe de fonctionnement d'un ouvrage transverse (épi)

## Les brise-lames

Les brise-lames sont des ouvrages installés en mer parallèlement au trait de côte pour amortir l'énergie de la houle et limiter le transport sédimentaire dans le profil (transversalement à la côte). Les crêtes de houle contournant l'obstacle se concentrent derrière l'ouvrage, générant un dépôt sableux en forme de tombolo. L'engraissement obtenu est localisé derrière l'ouvrage, souvent au détriment des zones adjacentes où le trait de côte recule (cf. Illustration 28). Ils ne sont pas adaptés aux secteurs où le transit parallèle à la plage prédomine. Les coûts d'installation et de maintien peuvent être élevés.

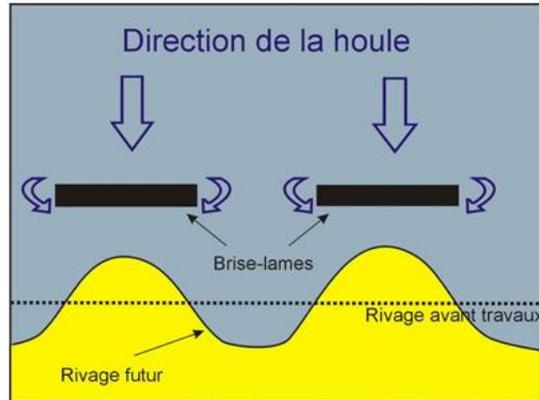


Illustration 28 - Principe de fonctionnement d'un brise-lames

## Les structures en géotextiles

Les géotextiles sont des tissus, le plus souvent de fibre synthétique (géosynthétiques), qui ont pour propriété principale de laisser passer l'eau tout en étant imputrescible.

Ces géotextiles peuvent être utilisés pour la gestion de l'érosion côtière en recouvrement des zones érodées (tablier, tapis anti-affouillement) mais ils se sont surtout généralisés sous forme de conteneurs (appelés également « sacs » ou « tubes », voire plus communément « boudins » selon leur forme) remplis de matériaux sédimentaires, en principe avec le sable prélevé sur place par une pompe refoulante.

Ces conteneurs peuvent être placés sur la plage aérienne où ils sont soit disposés perpendiculairement à la côte (dans ce cas ils fonctionnent comme un épi rocheux), soit le long de la côte en haut de plage afin de reconstituer et d'armer la berme ou le cordon dunaire (Illustration 29 et 30). Dans ce dernier cas, ils sont disposés de manière à être recouverts naturellement par le sable ou alors directement enfouis, et souvent végétalisés.

L'utilisation de ces ouvrages pour la fixation du trait de côte et la modification du transit entraîne les mêmes inconvénients que les ouvrages en enrochements (érosion en aval ou sur les zones adjacentes). Par ailleurs, ces ouvrages sont relativement fragiles, ils peuvent être percés par des débris et ne semblent donc pas convenir à des environnements très exposés. Leur constitution vulnérable et leur visibilité sur la plage les exposent de plus à des actes de vandalisme.



Illustration 29 - Exemple de structures en géotextiles longitudinal en pied de dune (à gauche) ou en épi en T (à droite).



Illustration 30 – Conteneur géotextile placé longitudinalement en haut de plage pour armer et reconstituer le front de dune – source ©Géotube

## Les récifs artificiels

Des structures métalliques, en béton ou même en géotextile peuvent être submergées dans des profondeurs relativement faibles permettant le déferlement de la houle et donc une dissipation de son énergie qui va atténuer les impacts à la côte.

Ce rôle d'atténuation des houles peut également induire des phénomènes de réfraction, concentrant l'énergie sur certains secteurs du littoral. Seuls les récifs faiblement immergés sont à même de dissiper suffisamment l'énergie des vagues pour limiter les phénomènes érosifs sur la plage. Les retours d'expérience sur ces systèmes restent très faibles. Les récifs implantés à plus grande profondeur dans un but de restauration du milieu (repeuplement halieutique ou benthique par exemple) ne constituent pas une technique de lutte contre l'érosion.

### 4.1.5. Le nettoyage raisonné des plages

#### Principe

Le nettoyage de plage ne constitue pas à proprement dit une technique de gestion de l'érosion mais un recours raisonné peut permettre d'en limiter les effets (cf. Illustration 31).

En effet, la mer dépose naturellement sur la plage toute sorte de déchets dont des macro-déchets issus de l'activité humaine (plastiques, verre, etc.) et des débris naturels ou bio-déchets (algues, bois flottés, coquillages, etc.). S'il est évident que les macro-déchets doivent être enlevés, les

bio-déchets qui composent la laisse de mer ou la banquette de bas de plage contribuent à l'équilibre de la plage car elles permettent de piéger les sédiments et d'amortir les vagues. Plus indirectement, grâce aux éléments nutritifs apportés par leur détérioration naturelle, elles favorisent le développement de la végétation et des dunes embryonnaires (cf. guide méthodologique du nettoyage raisonné des plages du Conservatoire du Littoral<sup>1</sup> et Rivages de France<sup>2</sup>).

Il est donc important de mettre en œuvre un nettoyage raisonné (également appelé nettoyage « différencié ») permettant un tri sélectif, réalisable le plus souvent par un ramassage manuel. Le nettoyage mécanisé, certes plus rapide, a en revanche pour inconvénient de limiter le tri en prélevant outre les déchets tout type confondu, le sable piégé dans la laisse et en détruisant la végétation embryonnaire.

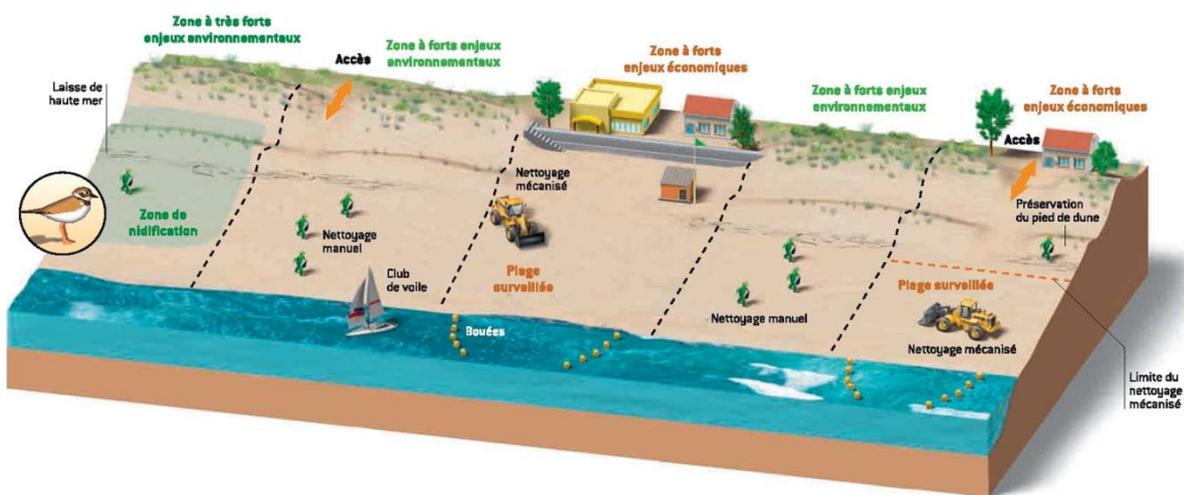


Illustration 31 – Exemple de plan de nettoyage raisonné de la plage issu du guide méthodologique (Conservatoire du littoral, Rivages de France)

#### 4.1.6. Autres systèmes

##### Le reprofilage du haut de plage

Le reprofilage est souvent associé à d'autres formes d'intervention sur la plage, comme à l'occasion d'un rechargement en sable (Anthony *et al.*, 1998) ou de l'implantation de drains ou de tubes géotextiles. Il peut cependant être réalisé de manière indépendante afin de restituer artificiellement à une plage un profil « d'équilibre » suite à une tempête (cf. Illustration 32).

En effet, après un évènement météo-marin important les échanges sédimentaires transversaux depuis la plage émergée vers la plage immergée peuvent se traduire par la formation d'un front d'érosion sur le haut de plage (ou sur la dune bordière) qui rend la plage d'autant plus exposée à de nouvelles pertes sédimentaires en cas de tempêtes successives (davantage de réflexion et d'affouillement par les vagues). Afin de limiter la vulnérabilité de la plage en période de tempête,

<sup>1</sup> <http://www.conservatoire-du-littoral.fr/front/process/Contente655.html>

<sup>2</sup> <http://www.rivagesdefrance.org/index.php/les-espaces-naturels-littoraux/dossiers-thematiques/le-nettoyage-raisonne-des-plages-guide-methodologique>

le profil peut donc être adouci au moyen d'un engin mécanique (Illustration 32) et ainsi favoriser la dissipation de l'énergie des vagues avec un transport sédimentaire moindre.



*Illustration 32 – Reprofilage du haut de plage à St Hilaire de Riez en Vendée (mai 2012 – source Ouest France)*

Il est à noter que la pente s'adoucit naturellement sans intervention de l'homme mais à des échelles de temps dépendant des conditions hydrométéorologiques qui suivent la tempête. Ce type d'intervention n'est donc à envisager que lorsque des enjeux situés en arrière de la plage se trouvent menacés par une nouvelle phase d'érosion. Il s'agit donc davantage d'une solution d'urgence ponctuelle que d'une gestion globale et pérenne du phénomène.

### **Les pieux hydrauliques**

Les pieux hydrauliques correspondent à des pieux en bois plantés verticalement dans le sédiment suivant un espacement régulier et alignés le plus souvent de manière transversale à la plage comme pour un épi (Cap Ferret, St Malo). De récentes installations de manière longitudinale en haut de plage et en « équerre » (transversal et longitudinal) ont été réalisées sur l'île de Noirmoutier en 2007 (cf. Illustration 33).

Le dispositif, dit « perméable », vise à une dispersion de l'énergie des vagues tout en évitant de bloquer le transit sédimentaire. Bien que certaines installations datent de plusieurs dizaines d'années, les retours d'expériences restent limités et ne permettent pas de statuer sur l'efficacité du procédé ni sur une doctrine particulière de mise en œuvre (MEEDM, 2010). Il est à noter toutefois que les exemples connus se limitent à des environnements littoraux à marées.

Leur avantage principal consiste en un coût relativement modéré mais ils ont pour inconvénient de constituer un obstacle pour les usagers de la plage et d'être dangereux pour la navigation s'ils sont arrachés et emportés au large (Ancorim, 2011).



*Illustration 33 - Installation de pieux hydrauliques en équerre sur la plage des Eloux à Noirmoutier (Fatal et al., 2010)*

**Ce dispositif est à différencier des systèmes bloquant l'accès aux véhicules sur la plage qui n'ont aucun effet sur le transport sédimentaire.**

#### **Les atténuateurs de courant à base d'éléments filiformes**

Bien qu'existant depuis plus d'une trentaine d'années, ces procédés restent encore au stade expérimental. Dans la plupart des cas, il s'agit d'algues synthétiques fixées sur le fond afin d'atténuer (ou dévier) les courants de fond générés par la houle ou la marée (cf. Illustration 34). Plusieurs exemples existent de par le monde, particulièrement aux Etats-Unis (où la société *Seascape synthetic Seaweed* a été très active depuis le début des années 80) et dans la Caraïbe, y compris en France (plage des Prêcheurs en Martinique).



*Illustration 34 – Exemple d'algues artificielles fixées sur le fond de la plage submergée à La Barbade (Atherley, 1989)*

Les résultats en termes de remédiation de l'érosion côtière divisent la communauté scientifique (Charlier et De Meyer, 2000). Sans rentrer dans le débat, il peut être conclu que ce type de

méthode reste peu pertinente dans les régions où les algues naturelles ou les récifs abondent et où leur préservation doit être privilégiée.

## 4.2. LA GESTION DES CORDONS DUNAIRES ET DES HAUTS DE PLAGES

Les dunes jouent un rôle de protection face aux phénomènes de fortes houles et la végétation qui les caractérise permet de fixer le sable en luttant notamment contre l'érosion éolienne afin que la dune puisse garder sa morphologie et constituer ainsi une source de sédiment pouvant réalimenter la plage. En plus d'avoir un rôle de protection face aux assauts de la mer, la dune représente également un habitat naturel intéressant.

A la différence des plages, les solutions douces de gestion de l'érosion des dunes ne constituent pas des techniques alternatives ou innovantes. Elles sont en effet généralisées depuis fort longtemps (certaines depuis le Moyen-Âge) et font l'objet de méthodes bien documentées, reconnues et bien maîtrisées par les opérateurs français.

Le principe de base du contrôle de la mobilité des dunes est la modération de l'action éolienne par réduction de la vitesse du vent (Nordstrom, 2008). Les techniques principales utilisées concernent la pose de débris végétaux et de rideaux brise-vent ainsi que des plantations adaptées à ce milieu spécifique.

### 4.2.1. La couverture de débris végétaux

Utilisée depuis le XIX<sup>ème</sup> siècle, cette technique a pour principe de disposer des branchages issus des boisements alentours sur le sable afin de favoriser son accumulation en réduisant voire supprimant le vent au niveau du sol (Favenec, 1999). Il peut s'agir de branchages fins (buissons de Genêt, de Bruyère à balais,...) étalés manuellement ou de gros branchages (Pin maritime, Chêne vert) nécessitant le recours à des engins mécaniques (cf. Illustration 35).

Dans un souci de conservation du milieu, les branchages verts susceptibles de bouturer, les espèces exogènes indésirables et les branchages trop grossiers (points durs) sont à proscrire.



*Illustration 35 – Couverture manuelle et mécanisée de branches de Pins en Aquitaine (ONF)*

La couverture de branchage est particulièrement adaptée pour combler les zones déprimées et reconstituer un profil aérodynamique. Par ailleurs, elle constitue un apport de matière organique

pour la reprise de la végétation et peut dans certains cas servir à canaliser la fréquentation. Leur extension doit être cependant limitée afin d'éviter les perturbations écologiques et paysagères.

Sur les littoraux antillais, les plantes rampantes type « patate bord de mer » jouent ce rôle de préservation et leur développement et protection sont donc à favoriser.

#### 4.2.2. Les brises-vents

Il existe diverses formes de rideaux brises-vents à base de matériaux végétaux (ganivelles de châtaignier, filet en fibres de coco) ou synthétiques (treillis plastiques). Leur utilisation est ancestrale pour lutter contre l'érosion éolienne et favoriser le dépôt des sédiments transportés en limitant la vitesse du vent (cf. Illustration 36).



*Illustration 36 – Casiers de ganivelles installées sur des formations dunaires méditerranéennes (Flèche de La Gracieuse, SDAGE RM&C, 2005)*

Les rideaux de brise-vent peuvent être disposés en alignement ou en maillage. Outre leur action contre le vent, ces barrières semi-perméables protègent les plantations qui peuvent être opérées sur la dune. Ils ne sont pas adaptés aux zones très chaotiques (pose difficile) ou de déflation intense (les branchages sont plus efficaces).

#### 4.2.3. Les plantations

Des plantations sont souvent effectuées en complément des solutions de réduction de la vitesse du vent. Le principe est également de fixer le sable dans le tissu racinaire des plantes (cf. Illustration 37).



*Illustration 37 – Plantation d'oyat sur les dunes méditerranéennes espagnoles (UICN, 2012)*

#### **4.2.4. Autres techniques**

##### **La canalisation de la fréquentation**

L'intense fréquentation pouvant avoir des effets dégradants sur le couvert végétal (piétinement) et la fixation du sable, il s'avère nécessaire de canaliser les flux de circulation des usagers sur la dune pour limiter l'érosion éolienne.

Il y a encore peu de temps, les vacanciers avaient pour habitude de se garer avec leur voiture directement sur le haut de plage. Aujourd'hui si ces pratiques ont pour la plupart disparues, la fréquentation pédestre reste suffisamment impactante pour justifier le recours à des accès balisés et canalisés le plus souvent par des ganivelles (cf. Illustration 38).



*Illustration 38 – Canalisation de l'accès à la dune au moyen de ganivelles, Ricanto - Corse (Conservatoire du Littoral)*

#### 4.3. SYNTHÈSE SUR LES STRATÉGIES DE GESTION ET SOLUTIONS TECHNIQUES DE DÉFENSE CONTRE LA MER

Les gestionnaires du littoral disposent ainsi d'un panel de solutions techniques variées, qui sont plus ou moins adaptées en fonction des caractéristiques locales d'un site, et qui entraînent souvent des effets secondaires sur les zones adjacentes. Il convient de préciser que les différents modes de gestion (et les solutions techniques) peuvent être combinés à la fois dans le temps et dans l'espace (par exemple il peut être préconisé dans un 1<sup>er</sup> temps de protéger les enjeux coûte que coûte puis relocaliser une fois la relocalisation possible). Le tableau suivant (Illustration 39) résume les avantages / inconvénients des différentes techniques présentées précédemment.

Il convient également de préciser que **la totalité des techniques de lutte contre l'érosion nécessitent un entretien**. Ceci est valable pour les structures en enrochements qui peuvent bouger lors des tempêtes ou par affouillement, pour les géotubes qui peuvent être percés ou se désancrer, ou les rechargements qui nécessitent généralement des ré-ensablements réguliers d'entretien.

<b>Solution technique</b>	<b>Avantages</b>	<b>Limites</b>
<b>1 - Recul stratégique</b>	Protection des enjeux, restauration d'un espace de liberté pour la dynamique littorale, solution pérenne et durable Vies humaines protégées en cas de submersion marine Absence de coûts d'entretien	Coûts peuvent être importants, consommation d'espace pour la relocalisation Acceptabilité sociale difficile Nécessité de trouver des terrains d'accueil
<b>2 - Laisser faire</b>	Respect du fonctionnement naturel Absence de coûts Phases d'observations et de suivis permettent de rester vigilants.	Application limitée aux espaces naturels à très faibles enjeux ou aux zones stables
<b>3 – Méthodes douces</b>		
<b>Rechargement de plage</b>	Compense le déséquilibre du littoral, impact paysager nul, espace récréatif suffisant, limite les submersions, non néfaste pour les plages avoisinantes	Rechargements réguliers généralement nécessaires, nombreuses études préalables, entretiens réguliers (parfois coûteux), le prélèvement des matériaux doit être proche Impact flore/faune possible
<b>Couvertures de débris végétaux</b> <b>Brise-vents</b>	Accumulation des sédiments, limite l'érosion éolienne, limite les dommages liés au piétinement, développement des communautés végétales, solution durable Favorisent le dépôt sédimentaire, mise en place simple, peuvent être combinés à d'autres méthodes, biodégradable, solution durable permettant également de gérer la sur-fréquentation des sites	Extension des couvertures limitée, surveillance périodique  A éviter dans les zones à forte pente, surveillance périodique
<b>Plantations</b>	Limite l'érosion éolienne, coût amorti, solution durable	Dunes régulièrement entretenues, fréquentation non excessive
<b>Drainage de plage</b>	Abaisse le toit de la nappe donc réduit l'érosion, impact paysager nul (hors période de travaux)	Limité à certains types de plages, entretien régulier du système, coût
<b>By-passing</b>	Restaure une dérive littorale bloquée, systèmes fixes ou mobiles	Le site doit être facile d'accès et proche de la zone à traiter, entretien régulier, perturbation de la biodiversité littorale, nuisances du by-pass mécanique (état infrastructures routières, bruit...)
<b>Gestion des embouchures</b>	Rétablit le transit bloqué aux embouchures par des ouvrages (ensablement de grau), ou par la barrière hydraulique du fleuve (delta d'embouchures)	Entretiens réguliers à réaliser

	Permet la non-fixation d'une embouchure naturellement mobile	
<b>4 – Méthodes dures</b>		
<b>Enrochements (épis, brise-lames)</b>	Fixation du trait de côte, protection immédiate des enjeux proches	Effet très local et incidences néfastes et déplacements du phénomène érosif vers les littoraux adjacents, Fréquence des entretiens importante (parfois coûteux)
<b>Géotextiles</b>	Fixation du trait de côte, protection immédiate des enjeux proches, impact visuel faible si recouvrement	Effets sur les secteurs adjacents, fragilité des textiles, entretien régulier (parfois coûteux), exposés et vulnérables au vandalisme

*Illustration 39 : Avantages et limites des différentes solutions de protection contre la mer  
Source : Balouin et al., 2012, De La Torre et al., 2014.*



## 5. Recommandations

### 5.1. RAPPEL DES OBJECTIFS DE GESTION

L'objectif de l'aménagement de la plage des Raisins Clairs est de mettre en place une solution qui pourrait préserver à la fois:

- Le cimetière colonial (patrimoine guadeloupéen) ;
- Le caractère « naturel » du site et son attractivité touristique.

Dans ce contexte les objectifs spécifiques de l'intervention sont d'assurer une protection pérenne au droit du cimetière colonial, et de restituer une dynamique naturelle à la plage en constituant une zone tampon permettant d'absorber les variations saisonnières naturelles de la plage tout en favorisant les transits sédimentaires liés à la dérive littorale.

Afin d'atteindre ces objectifs, plusieurs solutions techniques sont envisageables, et certaines solutions sont à proscrire en raisons des effets collatéraux qu'elles pourraient engendrer. Les paragraphes suivants présentent l'analyse de l'applicabilité des solutions techniques, et les recommandations découlant de cette analyse.

### 5.2. ANALYSES DE LA PERTINENCE DES DIFFÉRENTES SOLUTIONS TECHNIQUES

Les solutions techniques de lutte contre l'érosion présentées au chapitre précédent sont des techniques plus ou moins adaptées à la problématique de la plage des Raisins Clairs avec lesquelles il faut composer. L'illustration 40 présente une analyse de la pertinence de ces solutions pour le site des Raisins Clairs.

Solutions techniques	Analyse de pertinence
<p><b>Solution 1 : Fixation du trait de côte</b></p> <p>Cette fixation peut s'effectuer à l'aide d'enrochements ou de tubes géotextiles. L'objectif est de maintenir une position du trait de côte.</p>	<p>La fixation du trait de côte est une technique couteuse qui peut avoir des effets collatéraux, tels que la disparition progressive de la plage, telle qu'elle est observée au droit du cimetière communal et du restaurant Les Raisins Clairs.</p> <p>Cette disparition n'étant pas souhaitable pour le maintien de l'usage de la plage par les résidents et les touristes, <b>cette solution est à écarter.</b></p>
<p><b>Solution 2 : Atténuation des facteurs d'érosion</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Atténuation de la houle</u> : les vagues pénètrent dans les passes sans être totalement dissipées par les fonds sableux et les récifs. Une technique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le diagnostic établi pointe sur le déficit sédimentaire important sur la plage et l'avant-plage. La mise en place d'un atténuateur, s'il diminue l'impact des plus fortes houles, <b>ne permet pas d'agir sur</b></li> </ul>

<p>consisterait à favoriser, à l'aide d'un système d'atténuation (tubes géotextiles, récifs), le déferlement des vagues au large plutôt qu'à la côte afin de limiter leur pouvoir érosif.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Réduction du transit par la dérive littorale</u> : la mise en place de structures en épis (enrochements ou géotubes) pourrait favoriser le piégeage du sédiment dans la partie la plus sensible de la plage (au droit du cimetière colonial).</li> </ul>	<p><b>la cause principale d'érosion.</b> De plus, la fermeture du système par une telle structure pourrait générer une augmentation des courants de dérive littorale et accélérer les transits sableux vers l'ouest.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le piégeage des sédiments transportés d'Est en Ouest par la dérive littorale permettrait de stabiliser localement la plage. Toutefois, le déploiement de tels ouvrages entrainerait le report de l'érosion sur la zone adjacente. <b>Il demeure de plus peu compatible avec la présence de récifs irréguliers à proximité du trait de côte.</b></li> </ul>
<p><b>Solution 3 : restauration de la zone tampon :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Ré-ensablement</b> : le ré-ensablement permettrait de restaurer la dynamique naturelle du site, notamment la variabilité saisonnière de la plage, tout en limitant les effets sur le haut de plage ;</li> <li>- <b>Relocalisation des enjeux</b> : la restauration de l'espace tampon peut également être réalisée en « reculant » les enjeux présents de manière à restituer un espace de liberté à la plage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le ré-ensablement constitue une technique douce, sans effets collatéraux, qui <b>paraît particulièrement adaptée au contexte de déficit sédimentaire chronique du site.</b> Des précautions sont à prendre pour respecter la granulométrie du site et en termes de qualité des sédiments.</li> <li>- La relocalisation des enjeux (restaurant et cimetière colonial) est une stratégie à long terme qu'il convient d'étudier. <b>Cette solution apparaît toutefois très couteuse et se traduirait par une intervention définitive sur le patrimoine archéologique du cimetière colonial.</b></li> </ul>
<p><b>Solution 4 : diminution des facteurs érosifs par végétalisation et gestion de la fréquentation</b></p> <p>Cette solution vise à stabiliser, de manière naturelle, le stock de sable présent sur la plage.</p>	<p>Sans résoudre le déficit sédimentaire chronique du site, <b>cette solution reste très pertinente en accompagnement d'une intervention sur la plage</b></p>

*Illustration 40 – Solutions techniques et analyse de leur pertinence pour la plage des Raisins Clairs.*

L'analyse des solutions techniques met en évidence l'absence d'une solution unique pour résoudre l'érosion de la plage des Raisins Clairs, et l'inadéquation de certaines solutions (fixation du trait de côte, atténuation de la houle, réduction du transit par la dérive littorale, relocalisation des enjeux) sur le site en raison d'effets collatéraux non compatibles avec les objectifs de l'intervention. Au vu de cette analyse certaines solutions semblent plus pertinentes avec les

objectifs de l'intervention et sont à préconiser : restauration de la zone tampon par ré-ensablement, protection en précaution en cas de forte érosion à la suite d'un événement intense au droit du cimetière et/ou diminution des facteurs érosifs par végétalisation et gestion de la fréquentation.

## 6. Recommandations

Afin d'atteindre les objectifs de gestion du site, 2 scénarios semblent pertinents. Ils sont présentés ci-après.

### 6.1. SCÉNARIO 1

Le scénario 1 (cf. Illustration 41) repose sur l'utilisation de plusieurs solutions techniques ayant un objectif complémentaire :

- La protection rigide du front d'érosion face au cimetière colonial ;
- Le ré-ensablement du site pour restituer une dynamique naturelle et une zone tampon ;
- La végétalisation du haut de plage et la gestion de la fréquentation de manière à limiter le piétinement du site.

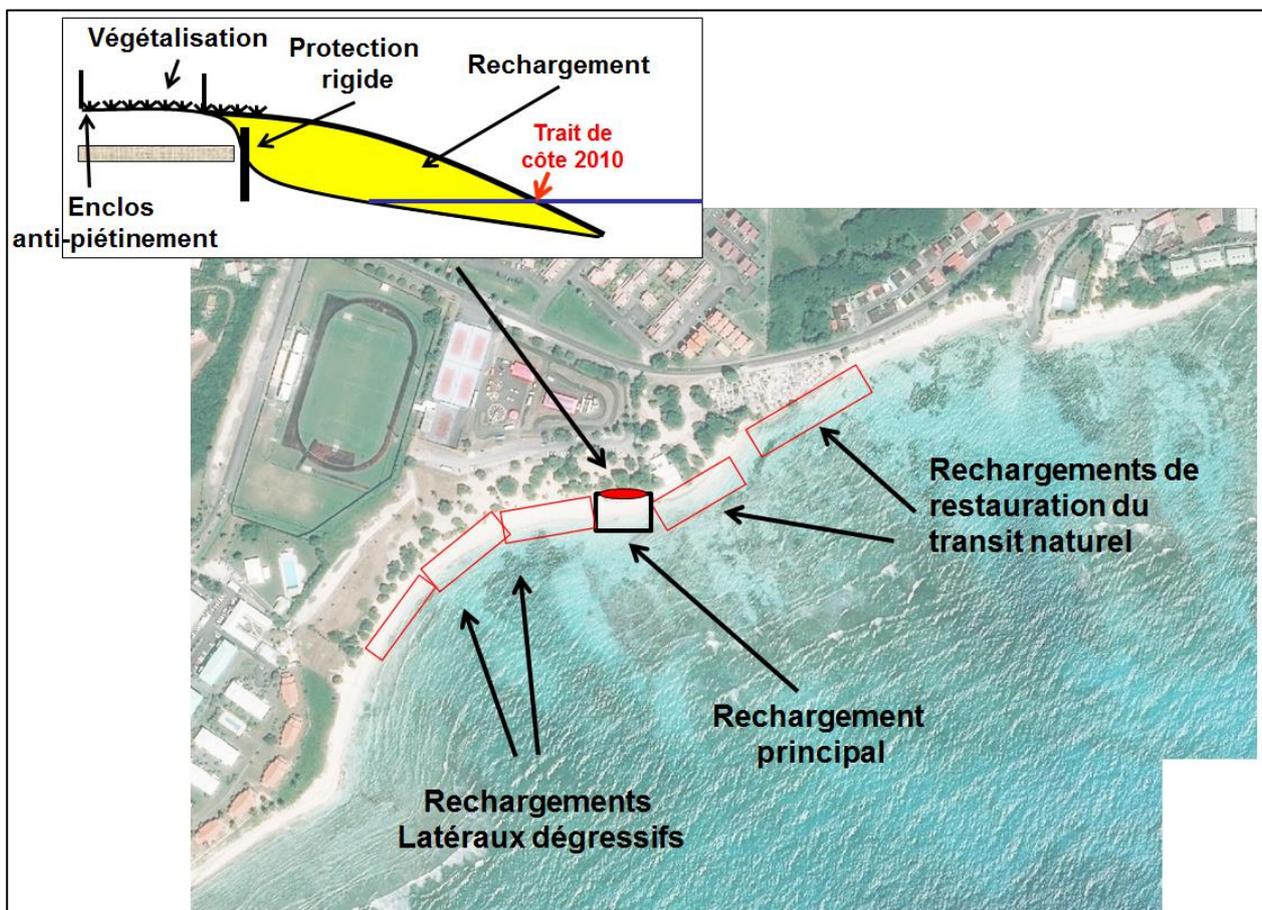


Illustration 41 – Schéma illustrant le scénario de ré-ensablement et protection rigide du cimetière.

### 6.1.1. Protection rigide du cimetière

La protection rigide du cimetière constitue une protection ultime des enjeux face aux événements de tempête les plus intenses. L'objectif est de constituer une barrière qui ne sera exposée qu'en situation extrême (cyclones, tempêtes) et ne sera pas sollicitée en dehors de ces événements potentiels extrêmes. Tout le front d'érosion du cimetière doit être protégé, ce qui constitue un linéaire de plage de l'ordre de 60 m.

Cette protection peut être constituée de plusieurs manières :

- Palplanches : Cette solution, très utilisée, dans les constructions portuaires, viserait à établir un rideau métallique isolant le front d'érosion du cimetière de la mer ;
- Rideau de pieux en bois : de la même manière, l'objectif est de constituer une barrière rigide qui peut être faite d'un alignement de pieux jointifs ou de pieux espacés complétés par des bardages en bois ;
- Géotube : cette solution, aux objectifs identiques, revient à constituer la barrière à l'aide de conteneurs en géotextiles remplis de sable.

La principale difficulté de mise en œuvre de ces différentes techniques réside dans l'ancrage des structures qui nécessite dans certains cas le creusement d'une souille (pour y installer les géotubes) et dans les autres cas, l'enfoncement suffisant des pieux ou palplanches dans le sol par battage ou vibro-fonçage qui peut demander des moyens importants en raison de la présence d'une nappe d'eau très superficielle. Ces moyens sont toutefois mis en œuvre à la Guadeloupe de manière régulière pour les projets d'aménagements portuaires.

Si la solution de palplanches n'a pas été évaluée financièrement, les solutions de pieux sont estimées entre 40 000 et 80 000 € et la solution en géotubes de l'ordre de 110 000 € (DAC, 2015).

### 6.1.2. Ré-ensablement

L'objectif du ré-ensablement est de restaurer la dynamique naturelle du site. Celui-ci doit donc prendre en compte à la fois la variation saisonnière de la plage, mais également le transit littoral interrompu aujourd'hui par les enrochements devant le cimetière communal et devant le restaurant Les Raisins Clairs.

Le schéma proposé (Illustration 41 et 42) consiste à restituer à la plage, au droit du cimetière, son profil topographique de 2010. Le plus gros volume du ré-ensablement doit donc être déposé dans ce secteur (environ 1000 m<sup>3</sup>, à confirmer par l'étude de dimensionnement). De manière à ne pas créer de déséquilibre entre cette zone aménagée et les littoraux adjacents, un rechargement dégressif vers l'ouest est à envisagé. Enfin, afin de restaurer les transits sédimentaires d'est en ouest, des rechargements ponctuels au droit des enrochements sont à réaliser.

Le volume sableux de cette intervention, qui reste à préciser, est estimé entre 2000 et 3000 m<sup>3</sup>.

### Sources sédimentaires

Plusieurs sources sédimentaires sont envisageables et doivent être prospectées. Il s'agit de sources locales comme l'accumulation sableuse récurrente de l'embouchure de la ravine Cayenne, ou l'accumulation amont-transit sur la plage de la gendarmerie à l'Est de la ravine.

La source principale d’approvisionnement en Guadeloupe est la carrière marine de Petit-Havre. Sous réserve de granulométrie compatible, ce sable (avec transport) est estimé à 30-40 €/m<sup>3</sup>.

Enfin, d’autres sources peuvent être analysées, telles que les dépôts présents au large des passes, ou encore les sédiments de dragage, sous réserve d’une qualité compatible avec un rechargement de plage en sable.

Ces rechargements peuvent être réalisés par la mer à l’aide d’une barge, ou par la terre par camions avec une complexité accrue pour la gestion du trafic sur le site.

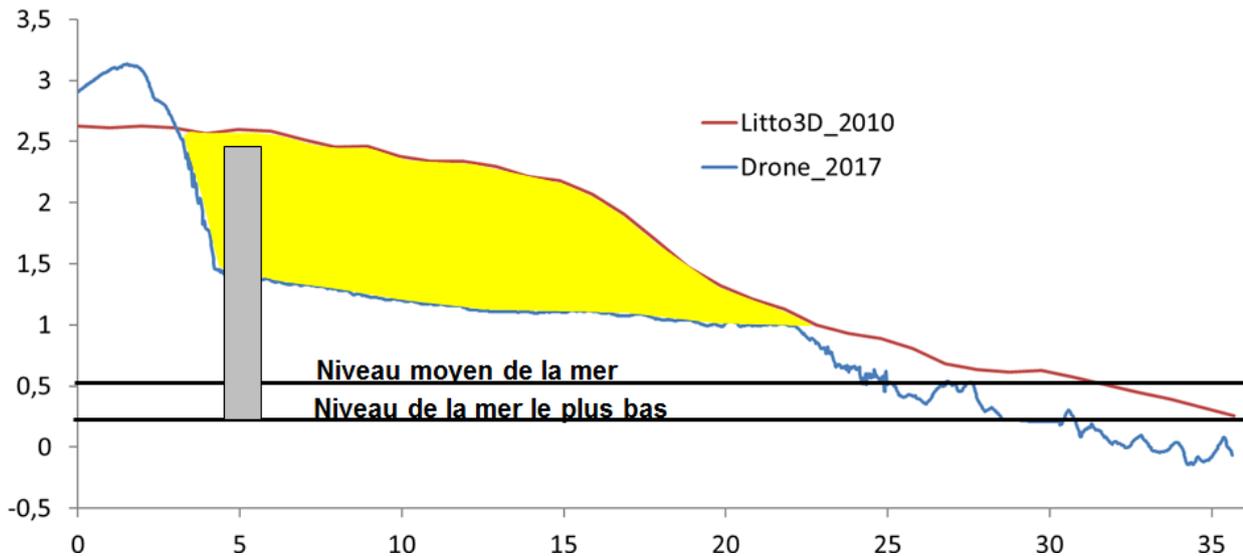


Illustration 42 – Schéma illustrant le ré-ensablement (en jaune) et la solution rigide sur un profil transverse à la plage au niveau du cimetière.

### Rechargement d’entretien

Comme décrit précédemment, le scénario proposé repose sur une combinaison de défense rigide au droit du cimetière colonial et d’un rechargement. L’ouvrage rigide vertical présente une protection du front d’érosion, mais en cas de mise à nue peut générer un abaissement de la plage par réflexion de la houle. Il convient donc dans ce scénario d’éviter la mise à nue de cet ouvrage, et de procéder si besoin à des rechargements d’entretien, notamment avant la période cyclonique si la plage présente une diminution marquée de son stock sableux.

Les rechargements d’entretien sont généralement de volume plus modéré (1000-2000 m<sup>3</sup> à confirmer par l’étude de dimensionnement), et seront réalisés en fonction de l’occurrence d’événements érosifs.

### 6.1.3. Végétalisation et gestion de la fréquentation

Afin de pérenniser et stabiliser les actions présentées précédemment, il convient de procéder à la re-végétalisation du haut de plage (sur le cimetière colonial, mais également sur le haut de plage rechargé. La mise en place de plantes rampantes du type « patate bord de mer » est préconisée pour stabiliser le rechargement, puis l’implantation d’arbustes qui auront pour effet de fixer le stock sableux sur le haut de plage. Des démarches de ce type ont été réalisées par l’ONF sur plusieurs sites en métropole et aux Antilles et notamment en Guadeloupe sur le site de la plage de Cluny dans la commune de Sainte-Rose.

## 6.2. SCÉNARIO 2

Le scénario 2 porte sur une réflexion à plus long-terme visant à relocaliser les enjeux présents sur le site.

La problématique d'érosion est chronique sur la plage des Raisins Clairs. En conséquence, ce phénomène va se poursuivre et potentiellement s'accroître avec les effets attendus du changement climatique global (augmentation du niveau des mers, modifications potentielles de la fréquence et/ou de l'intensité des cyclones, ...).

Dans ce contexte, une option à prendre en compte réside dans la relocalisation des enjeux que sont le restaurant « Les Raisins Clairs » et le cimetière colonial.

Cette relocalisation permettrait de supprimer les points durs actuels que sont les enrochements de manière à restituer une dynamique naturelle.

La conséquence attendue du retrait des enrochements est un ajustement du trait de côte qui va progressivement se linéariser, entraînant un probable recul modéré au niveau de la pointe centrale. Ces interventions pourront s'accompagner d'un ré-ensablement qui permettra un retour à une situation d'équilibre tout en limitant ce phénomène de réalignement du trait de côte.

Cette relocalisation qui doit être évaluée comprend également la fouille et le retrait de tout ou une partie du cimetière colonial, ce qui, au-delà du coût important, constitue un déplacement du patrimoine culturel présent sur le site.



## 7. Conclusion

L'objectif de cette mission d'appui et de conseil scientifique et technique du BRGM était de recenser les données disponibles sur le site de la plage des Raisins Clairs sur la Commune de Saint-François de manière à établir un diagnostic du phénomène érosif. Les données d'évolution du trait de côte, de morphologie de la plage, des volumes sableux mobilisés ces dernières années et des forçages météo-marins (houle, vents, cyclones) ont permis d'établir un schéma de fonctionnement de la baie des Raisins Clairs. Les courants liés à la houle induisent un transit sédimentaire d'est en ouest qui réduit progressivement le stock sableux. La problématique d'érosion de la plage des Raisins Clairs réside en conséquence d'un déficit chronique en sédiment, phénomène naturel qui affecte la quasi-totalité des littoraux. Ce phénomène est localement accru par des ouvrages qui viennent perturber le transit naturel. La jetée de l'embouchure de la ravine Cayenne qui piège le sable sur la plage de la gendarmerie, les enrochements du cimetière municipal et du restaurant 'Les Raisins Clairs' jouent en effet un rôle de blocage sédimentaire et accentuent localement l'érosion de la plage.

L'inventaire des solutions techniques de luttés contre l'érosion met en évidence plusieurs stratégies visant à gérer le trait de côte et à restaurer un espace de liberté au littoral. Certaines techniques, susceptibles d'accentuer l'érosion ou d'avoir des effets collatéraux importants sont écartées ; c'est notamment le cas de la fixation du trait de côte par des ouvrages durs.

Deux scénarios d'aménagement sont ainsi proposés :

- Un premier aménagement basé sur la restauration d'un espace tampon par ré-ensablement de la plage à son niveau de 2010. Ce scénario vise à rétablir le stock sédimentaire, mais également à restaurer les transits sableux naturels au droit du cimetière colonial ainsi que sur les parties adjacentes à la plage. Étant donnée la variabilité saisonnière et événementielle de la plage (occurrence de cyclones ou de tempêtes), un ouvrage de protection rigide est préconisé au droit du cimetière colonial pour jouer le rôle de protection ultime du site archéologique, en cas de rapide démaigrissement exceptionnel de la plage. Cette protection rigide doit toutefois bien être considérée comme une protection ultime du site archéologique et le but est qu'elle ne soit jamais exposée à la mer car cela conduirait à une érosion accélérée de la plage attenante. Des ré-ensablancements d'entretien réguliers sont donc à effectuer. ;
- Le second scénario, à considérer pour un aménagement à plus long-terme, est celui de la relocalisation des enjeux soumis à l'érosion, principalement le restaurant et le cimetière colonial. Si ce scénario suppose un investissement financier, humain et technique lourd pour la relocalisation (notamment les fouilles archéologiques), il constitue cependant un objectif de gestion à long-terme qu'il convient d'étudier.



## 8. Bibliographie

- ANCORIM (Atlantic Network for COastal Risks Management), 2011. Panorama des solutions douces de protection des côtes. Coord. BRGM et Région Aquitaine (France), 55 p.
- Anthony, E., Dubar, M., Cohen, O., 1998. Les cordons de galets de la Baie des Anges : histoire environnementale et stratigraphique ; évolution morphodynamique récente en réponse à des aménagements. Géomorphologie : relief, processus, environnement. Juillet 1998, vol. 4, n°2. pp. 167-187.
- Atherley K.A. (1989. Seascape ® synthetic seaweed. A failed solution to erosion in Barbados. In: Coastal Zone '89: Proceedings of the Sixth Symposium on Coastal and Ocean Management, (Charleston, South Carolina, USA), pp. 285-99.
- Augris, C., 2003. Carte des formations superficielles du plateau insulaire de la Guadeloupe (scan géoréférencé). <http://sextant.ifremer.fr/record/a372bc50-bc08-11df-a9b6-005056987263/>
- Balouin, Y., Belon, R., Stepanian, A. et Bodéré, G., 2012. Etude générale pour la protection du littoral de la plaine orientale de Corse – Préconisations de Gestion. Rapport BRGM/RP-61650-FR, 52 p.
- Barras, A-V., 2008. Inventaire des impacts de la houle cyclonique OMAR (16 Octobre 2008) sur la côte caraïbe de la Martinique. Rapport BRGM/RP-56803-FR, 25p.
- Charlier, R.H. and De Meyer C.P., 2000. Ask Nature to protect and build-up beaches. Journal of Coastal Research, 16(2), 385-390. Royal Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.
- Chauvet, M., Bodéré, G., Montpelat, J.M., Oliveros, C. et Bozorgan, A., 2007. Caractérisation des impacts de la houle cyclonique sur le littoral de Guadeloupe au passage de Dean. Rapport BRGM/RP-55911-FR.
- Chauvet, M., 2008. Caractérisation des impacts de la houle liée à l'ouragan « Omar » sur la Côte sous le Vent de la Guadeloupe (Octobre 2008). Rapport BRGM-RP-56869-FR
- Direction des Affaires Culturelles de Guadeloupe, 2015. Erosion du cimetière colonial de la plage des Raisins Clairs (Saint-François). Présentation des différentes solutions de stabilisation compilées par la DAC Guadeloupe, et actions préconisées. 75 p.
- De la Torre Y., Belon R., Balouin Y et Stepanian A., 2014. Inventaire et analyse des solutions douces de lutte contre l'érosion côtière et applicabilité au littoral corse. Rapport final. BRGM/RP-63034-FR, 59 p.
- Fattal, P., Robin, M., Paillart, M., Maanan, M., Mercier, D., Lamberts C. et Costa, S., 2010. Effets des tempêtes sur une plage aménagée et à forte protection côtière : la plage des Éloux (côte de Noirmoutier, Vendée, France) », Norois [En ligne], 215 | 2010/2, mis en ligne le 01 septembre 2012. URL: <http://norois.revues.org/index3289.html>.

Favennec J., 1999. Gestion des dunes littorales non boisées in Gérard B. (1999) – Le littoral. Editions BRGM, 352 p

Guillen L., Pallardy M., Legendre Y., De La Torre Y., Loireau C., 2017. Morphodynamique du littoral Guadeloupéen. Phase 1 : Définition et mise en place d'un réseau d'observation et de suivi du trait de côte. Évaluation historique du trait de côte Guadeloupéen. Rapport Final. BRGM/RP-66653-FR, 109p.

Huc J-L, Etna M., 2015. Eclats de temps, Anthologie des évènements climatiques extrêmes de la Guadeloupe, 456p.

Krien, Y., Dubon, B., Roger, J. and Zahibo, N., 2005. Probabilistic hurricane-induced storm surge hazard assessment in Guadeloupe, Lesser Antilles. Natural Hazards Earth System Sciences, 15:1711-1720.

Legendre, Y. et De La Torre, Y., 2014. Erosion marine du cimetière colonial – Plage des Raisins Clairs, Saint-François, Guadeloupe. Rapport d'expertise BRGM/RP-64107-FR, 14 p.

MEDDTL- Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transport et du Logement, 2012. Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte.

Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, 2010. La gestion du trait de côte. Editions Quae, 290 p.

METEO France, 2009. Histoire des cyclones de la Guadeloupe, [http://www.meteo.fr/temps/domtom/antilles/pack-public/cyclone/tout\\_cyclone/guadeloupe.htm](http://www.meteo.fr/temps/domtom/antilles/pack-public/cyclone/tout_cyclone/guadeloupe.htm)

MIAL, 2003. Orientation stratégiques pour la gestion de l'érosion en Languedoc-Roussillon. Juin 2003.

Nordstrom, Karl F., 2008. Beach and Dune Restoration. Cambridge University Press.

Pedrerros R. et Lecacheux S., 2008. Caractérisation des impacts de la houle sur le littoral de la Guadeloupe au passage de l'ouragan Dean - Phase III : modélisation numérique de la houle. BRGM/RP-56174-FR.

Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 2016. Références Altimétriques Maritimes, Ports de France métropolitaine et d'outre-mer. 120 p.





Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique**  
3, avenue Claude-Guillemain  
BP 36009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34 - [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**Direction régionale Guadeloupe**  
Parc d'activité de Colin, La Lézarde  
97170 – Petit-Bourg – France  
Tél. : 05 90 41 35 48