

Étude hydro-sédimentaire du littoral de Schælcher (Martinique)

hib-2 d7-h1a

Rapport final

BRGM/RP-63529-FR

de-hia

2113.21.6766.13 0

Décembre 2014





haa-b

h3a-b

.89 3740,46 -625.5







Étude hydro-sédimentaire du littoral de Schœlcher (Martinique)

Rapport final

BRGM/RP-63529-FR

Décembre 2014

Étude réalisée dans le cadre des projets d'appui aux politiques publiques du BRGM

Le Roy M., Nachbaur A., Nicolae Lerma A., Balouin Y., Idier D., Pedreros R.

Vérificateur :	Approbateur :
Nom : C. OLIVEROS	Nom : JC AUDRU
Date : 18/12/2014	Date : 19/12/2014
Signature :	Signature :

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



Mots-clés : Martinique, Schœlcher, littoral, mobilité sédimentaire, dérive littorale.

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

Le Roy M., Nachbaur A., Nicolae Lerma A., Balouin Y, Idier D., Pedreros R. (2014). Etude hydro-sédimentaire du littoral de Schœlcher (Martinique). Rapport final. BRGM/RP-63529-FR, p 129, 98 illustrations, 7 annexes

© BRGM, 2014, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

La CACEM a été interpellée par la commune de Schœlcher au sujet de l'ensablement régulier de l'embouchure de la rivière Case-Navire et des conséquences néfastes pour la commune et ses habitants. En parallèle, les plages voisines évoluent également (Madiana, Anse Colas..). La dynamique côtière de cette zone parait interconnectée, sans qu'aucune étude n'ait à l'heure actuelle, quantifié ou qualifié les agents hydrodynamiques à une échelle spatiale adaptée.

Pour apporter des réponses sur les dysfonctionnements observés, la CACEM a demandé au BRGM de caractériser le fonctionnement hydro-sédimentaire à l'échelle de la baie de Schœlcher qui s'avère être l'unité morphologique adaptée.

Pour y répondre, deux échelles d'étude ont été définies :

- L'unité littorale de 9 km qui s'étend depuis la Pointe Plate-Forme à Case-Pilote au nord jusqu'à la Pointe des Nègres à Fort de France, au sud et que nous appellerons dans la suite du rapport, par commodité "baie de Schoelcher" ;
- Un site pilote, centré sur l'embouchure de la rivière Case-Navire, au sein duquel des données quantitatives plus précises sur la dynamique hydro-sédimentaire ont été acquises.

Dans un premier temps, plusieurs types de mesures (hydrodynamiques,hydrosédimentaires, granulométriques, topographiques et photographiques) ont été acquises dans le cadre de ce projet (dont une partie a été réalisée en collaboration avec l'Université des Antilles-Guyane).

Dans un second temps, ces données ont été exploitées et valorisées.

Concernant le contexte hydro-dynamique

L'analyse des agents hydro-climatiques a confirmé plusieurs aspects particuliers des états de mer dans ce secteur. Ce dernier est complexe à caractériser car situé dans une zone d'ombre (abritée de l'action directe des vagues du fait de la morphologie de l'île) :

- les caractéristiques des vagues de part et d'autre de la baie de Schœlcher sont très différentes. En effet, les houles au nord du secteur sont essentiellement issues du canal de la Dominique (au Nord de la Martinique) alors que les houles observées au sud sont à la fois influencées par le nord et le sud et sont caractéristiques de la façade Caraïbe. Les vagues affectant le site d'étude sont donc issues de la rencontre de ces régimes opposés ;
- la résultante des vagues peut varier à l'échelle d'une journée, notamment du fait de l'intensification de l'action du vent sur les vagues (mer peu formée dite mer de vent) ;
- quelle que soit la situation de houles au large (hors situation de cyclones), l'angle d'incidence des vagues à la côte est relativement réduit, au maximum de +/- 20° (par rapport à la normale à la plage);
- les vagues sont, hors situation de cyclones, très faiblement énergétiques (hauteur significative des vagues < 0,5 m).

Comme les vagues affectant la baie sont issues d'influences nord et sud, la classification statistique des données de vagues a été réalisée en deux points (nord et sud) au large de la zone d'étude, sur une période de 23 ans de données (1990-2012).

Finalement, cinq états de mer caractéristiques du littoral de Schœlcher ont été identifiées (S1 à S5). Les situations S1 et S2 pourront être observées toute l'année mais plus particulièrement lors de la saison cyclonique (ou Hivernage). La situation S3 est quant à elle plus caractéristique de l'Hivernage. Enfin, les situations S4 et S5 correspondent plus particulièrement à la période au Carême.

Les conditions d'agitation qui génèrent les transports sédimentaires à la côte ont été modélisées pour ces 5 conditions de vagues. La provenance des vagues attaquant le littoral de Schœlcher est sud-ouest pour les situations S1, S2 et S3 et ouest pour les situations S4 et S5.

Concernant le contexte hydro-sédimentaire

La géométrie et l'extension des falaises rocheuses découpant la baie de Schœlcher, sont suffisantes pour constituer des zones d'interruption du transfert sédimentaire. La plupart des anses et fond de la baie sont donc indépendantes les unes des autres, y compris la plage de Madiana qui fonctionne vraisemblablement en régime sédimentaire autonome, indépendamment de la plage du bourg de Schœlcher. Seul se distingue le secteur allant d'Anse Colas à la plage du bourg qui constitue une cellule sédimentaire à part entière, dans laquelle les différentes anses sableuses présentent des transferts sédimentaires entre elles.

À l'intérieur de ces cellules, la mobilité sédimentaire du littoral est contrôlée par des dynamiques à la fois crossshore (perpendiculaire à la côte) et longshore (parallèle à la côte). Les mesures à l'aide du piège à sédiment ont permis de mettre en évidence l'importance quantitative du crossshore par rapport au longshore.

Les simulations numériques confirment bien que la quantité de sédiments transportés latéralement reste faible (essentiellement liée aux conditions de houle peu énergétiques) et que la direction de cette « dérive littorale » reste majoritairement vers le nord / nord-ouest.

Si une inversion de la direction de la dérive (vers le sud) est observée pour certains états de mer, en saison de Carême essentiellement, ce sont surtout les aménagements qui vont modifier de façon permanente le sens de la dérive naturelle et entrainer de ce fait, localement des dysfonctionnements sédimentaires.

La mobilité saisonnière du stock de sable a également été nettement mise en évidence par les levés topographiques sur les plages et l'observation de photos-aériennes. Cette dynamique naturelle permet d'assurer la stabilité à long terme. Elle nécessite cependant un espace de liberté suffisant sur la plage, qui est souvent menacé par des aménagements, qu'ils soient en mer ou sur le haut de plage.

Ainsi, la présence de muret en haut de plage (piscine du centre Vétiver par exemple) accentue la réflexion des vagues et donc la disparition de la plage. À Anse Madame, la réfraction de la houle sur les endiguements et remblais au nord de l'embouchure de la rivière Case-Navire modifie localement la direction de la dérive et engendre une érosion sédimentaire du nord de la plage (au profit du sud de la plage qui s'engraisse).

Concernant le bouchon sableux

La présence de bouchon sableux comme celui observé à l'embouchure de la rivière Case Navire est conditionnée par la balance entre l'apport de sédiments de la dérive littorale et la capacité de transport solide de la rivière. En Hivernage, les débits fluviatiles sont suffisants pour évacuer les sédiments vers le large et maintenir ainsi l'embouchure ouverte. En Carême, lorsque les débits de la rivière Case Navire sont faibles, la dérive littorale, induite par des houles longues de nord-est (période de l'ordre de 11s) vient progressivement fermer l'embouchure avec des sédiments marins. Cette accumulation sédimentaire marine contribue à la diminution des écoulements fluviatiles et de leur énergie, ce qui génère un dépôt supplémentaire de sables fluviatiles venant sceller le bouchon.

Si ce type de bouchon sableux est observé sur la quasi-totalité des embouchures, le volume de sédiments et donc la vitesse de comblement ont probablement été augmentés par l'aménagement de la rivière Case-Navire.

En effet, la simulation numérique a mis en évidence des flux long-shore importants au droit de l'embouchure, avec une direction dirigée en moyenne vers le sud. Limité sur les deltas naturels peu étendus en mer comme la situation de 1951, ce transport sédimentaire est accentué par les formes deltaïques plus aigües. L'aménagement de l'embouchure ayant contribué au développement rapide de la zone deltaïque vers la mer, son influence sur les apports sableux est probable.

Par ailleurs, l'aménagement a rallongé artificiellement le lit de la rivière d'environ 75 m, ce qui a entraîné une chute de l'énergie fluviatile et la perte de capacité de transport solide au niveau de l'embouchure, ce qui contribue à alimenter le bouchon. Il est aussi possible que la charge solide drainée par la rivière ait augmenté (érosion et rejets amont).

Concernant des préconisations de gestion

Toute gestion de l'érosion doit désormais être élaborée à l'échelle des cellules sédimentaires identifiées. Ces délimitations constituent aussi l'emprise latérale minimale des études d'impacts, pour tout aménagement sur le littoral.

Il est impératif de conserver un espace de liberté, notamment en haut de plage, pour que la mobilité saisonnière mise en évidence puisse se réaliser. Sans cet espace, on accentue le risque de disparition de la plage, voire des enjeux de haut de plage. Ce risque concerne particulièrement deux secteurs localisés sur Fond Bourlet (au niveau du mur du Vétiver) et au nord d'Anse Madame. Cette restauration d'un espace de liberté peut s'effectuer soit en déplaçant les enjeux présents, si cela est possible et accepté, soit par des techniques non fixantes comme le rechargement de plage.

À partir de cette connaissance sédimentaire globale à une échelle adaptée, la mise en place d'un plan de gestion du littoral (et notamment de gestion des sédiments) sur la baie de Schœlcher est possible et souhaitable, pour anticiper les dysfonctionnements sédimentaires

Étude hydrosédimentaire du littoral de Schœlcher

Sommaire

1.	Contexte	et organisation de l'étude15	
	1.1. CON	TEXTE	
	1.2. ORG	ANISATION15	
	1.3. PRÉ(CISION TERMINOLOGIQUE	
2.	Contexte	général19	
	2.1. LA B	AIE DE SCHŒLCHER ET LE SITE PILOTE	
	2.1.1.	Présentation géographique	. 19
	2.1.2.	Le réseau hydrographique	. 20
	2.1.3.	Typologie du littoral	. 22
	2.1.4.	Présentation de la variabilité granulométrique de la baie de Schœlcher	. 25
	2.2. AMÉ RETE	NAGEMENTS DE L'EMBOUCHURE DE LA RIVIÈRE CASE-NAVIRE ET ENUE DE SÉDIMENTS À L'EXUTOIRE	
	2.2.1.	Historique de l'aménagement de l'embouchure	. 29
	2.2.2.	Description du bouchon sableux de l'embouchure	. 30
	2.2.3.	Description des sédiments à l'embouchure de la rivière Case-Navire	. 31
	2.2.4.	Suivi photographique de l'embouchure de la Rivière Case-Navire	. 35
3.	Caractéri	sation des agents hydrodynamiques41	
	3.1. ACQ	UISITIONS IN SITU DES DONNÉES HYDRODYNAMIQUES41	
	3.1.1.	Mesures de vagues acquises	. 43
	3.1.2.	Mesures de courant acquises	. 45
	3.1.3.	Mesures de niveau d'eau acquises	. 47
	3.2. UN C	ONTEXTE HYDRODYNAMIQUE SPÉCIFIQUE47	
	3.3. IDEN	ITIFICATION DES CONDITIONS DE HOULES AU LARGE DU SITE D'ÉTUDE	

	3.3.1.	Validation du modèle IOWAGA-CRB	49
	3.3.2.	Classification statistique des familles de vagues au large du site d'étude	51
	3.4. MOD	ÉLISATION DES ÉTATS DE MER À LA CÔTE55	
	3.4.1.	Principe	55
	3.4.2.	Validation de la modélisation SWAN grâce aux observations in situ	55
	3.5. IDEN CLAS	TIFICATION DE SITUATIONS TYPE AU LARGE À PARTIR DE LA SSIFICATION DES VAGUES	
	3.5.1.	Situation type de vague au large de la zone d'étude	57
	3.5.2. large du	Modélisation des états de mer à la côte, à partir des 5 situations identifiées secteur d'étude	s au 59
4.	Quantific	ation de la dynamique hydro-sédimentaire sur le site pilote65	
	4.1. DYN/	AMIQUE HYDRO-SÉDIMENTAIRE AUX CAPTEURS65	
	4.1.1.	Méthode	65
	4.1.2.	Résultats	65
	4.1.3.	Conclusion	67
	4.2. DYN/	AMIQUE SÉDIMENTAIRE HYDRO-SÉDIMENTAIRE À LA CÔTE67	
	4.2.1.	Estimation quantitative des flux longshore et de leur variabilité sur le site pilote	. 68
	4.2.2.	Quantification ponctuelle des flux sédimentaires cross-shore et long-shore	71
	4.3. DYNA SÉDI	AMIQUE SÉDIMENTAIRE HYDRO-SÉDIMENTAIRE DE LA PARTIE MENTAIRE ÉMERGÉE74	
	4.3.1.	Suivi photographique de la plage de l'Anse Madame	74
	4.3.2. Colas (d	Suivi topographique de l'évolution des plages de Madiana, Anse Madame et A lite plage du Lido)	\nse 75
5.	Caractéri	sation des cellules sédimentaires sur la baie de Schœlcher79	
	5.1. CON	STATS HISTORIQUES SUR LA DYNAMIQUE DU LITTORAL	
	5.1.1.	Évolution multi-décennale et décennale du trait de côte	79
	5.1.2.	Constat historique sur les plages sableuses	83
	5.2. IDEN SCH(TIFICATION DU FONCTIONNEMENT SÉDIMENTAIRE AU SEIN DE LA BAIE ŒLCHER	DE
	5.2.1.	Rappel de la définition d'une cellule sédimentaire	83

	5.2.2. indépen	La baie de Schœlcher : un ensemble de petites cellules sédimentaires dantes								
	5.3. DES	CRIPTION DE CHAQUE CELLULE SÉDIMENTAIRE								
	5.3.1.	Fond Bourlet								
	5.3.2.	Fond Bellemare								
	5.3.3.	Fond Bernier								
	5.3.4.	Fond Lahaye								
	5.3.5.	Madiana								
	5.3.6.	Anse Gouraud								
	5.3.7.	Pointe des Nègres								
	5.3.8.	Anse Colas à plage du Bourg 98								
6.	Enseigne	ements101								
	6.1. SUR 1	LE FONCTIONNEMENT DES ANSES ET FONDS DE LA BAIE DE SCHŒLCHER 01								
	6.1.1.	L'indépendance des cellules 101								
	6.1.2.	Une forte variabilité saisonnière des stocks de sable 101								
	6.1.3.	Une dérive littorale globalement très faible101								
	6.1.4. Des dysfonctionnements sédimentaires localisés, essentiellement liés à l présence d'aménagements anthropiques10									
	6.2. SUR LE BOUCHON SABLEUX DE L'EMBOUCHURE DE LA RIVIÈRE CASE NAVIRE 103									
7.	Préconis	ation de gestion107								
	7.1. PRIN LITT(ICIPES GÉNÉRAUX POUR PRENDRE EN COMPTE LA DYNAMIQUE ORALE DANS L'AMÉNAGEMENT DU LITTORAL107								
	7.1.1.	Principes du MEDDE (2012) 107								
	7.1.2.	Stratégie de gestion 107								
	7.1.3.	Solutions techniques								
	7.2. PRÉ(DAN	CONISATION DE GESTION DES PLAGES ET DES STOCKS SÉDIMENTAIRES S LA BAIE DE SCHŒLCHER109								
	7.2.1.	Préconisation de gestion à l'échelle de la baie de Schœlcher 109								

8	Conclusi	on								113		
	les enje	ux d'habitation										110
	7.2.2.	Diagnostic particulier	sur les	secteurs	qui pre	ésentent	les ri	sques	les p	lus	forts	sur

9.	Bibliographie1	17

Liste des illustrations

Illustration 1 : Description des différents types de mesures acquises dans le cadre de cette étude
Illustration 2 : Définition des différentes zones de dynamique sédimentaire
Illustration 3 : Carte de la localisation de la baie de Schœlcher
Illustration 4 : Présentation de la baie de Schœlcher et du site pilote (fond cartographique de l'IGN)
Illustration 5 : Débits moyens mensuels à la station hydrométrique de Fond-Rousseau, Rivière Case-Navire, Schœlcher, pour les années 1988, 1989, 1995 et 2001 (Source : DEAL)
Illustration 6 : Répartition du linéaire côtier de la baie de Schœlcher. Source Lemoigne et al. 2013, modifié
Illustration 7 : Cartographie de la typologie côtière de la zone nord de l'étude. Fond : Orthophotographie aérienne de 2010 – IGN. Source : Lemoigne et al., 2013 modifié
Illustration 8: Cartographie de la typologie côtière au sud de la zone d'étude. Fond : Orthophotographie aérienne de 2010 – IGN. Source : Lemoigne et al., 2013 modifié
Illustration 9 : Présentation des échantillons, depuis Fond Bourlet au nord-ouest jusqu'à Madiana au sud
Illustration 10 : Classification granulométrique (Wenwoth, 1922)
Illustration 11 : Granulométrie médiane (d50) des échantillons, d'après la classification de Wenwoth (1922)
Illustration 12 : Granulométrie médiane (d50 en mm) des échantillons (en vert : sable fin, en jaune : sable moyen, en orange : sable grossier, en rouge et violet : graviers et cailloux) 27
Illustration 13 : Résultats de la campagne d'analyse granulométrique de Créocéan (1998) 28
Illustration 14 : Extension de l'embouchure de la rivière Case-Navire par alimentation anthropique depuis 1973 visible sur l'orthophotographie de 1982
Illustration 15 : Aménagement de la rive gauche en 2001 visible sur l'orthophotographie de 2004. Aménagement de la rive droite en 2006 visible sur l'orthophotographie de 2010
Illustration 16 : Retenue de sédiments visible à l'embouchure de la rivière Case-navire (Orthophotographies de 1988 et 2000)
Illustration 17 : Embouchure de la rivière Case-Navire, depuis la rive droite, le 18 avril 2013 32
Illustration 18 : Embouchure de la Rivière Case-Navire depuis la rive gauche, le 12 juillet 201332
Illustration 19 : Localisation des échantillons prélevés à l'embouchure de la rivière Case-Navire En jaune : sable moyen (0.25 à 0,5 mm), En orange : sable grossier (0.5 à 2 mm)
Illustration 20 : Echantillons prélevés sur la plage Anse Madame et à l'embouchure (CES CEBTP, 2012)

Illustration 21 : Le bouchon sableux depuis plusieurs images satellites succesives entre le 08/10/2011 et le 29/03/2014 (@Google Earth)
Illustration 22 : Evolution de l'emprise du bouchon sableux (sédiments émergés), par superposition des clichés photographiques prises de vue à marée basse
Illustration 23 : À gauche, ADCP avant sa mise à l'eau - À droite, un des deux Aquadopp avant nettoyage mensuel
Illustration 24 : Localisation des points de mouillage de l'ADCP et des Aquadopp
Illustration 25 : Caractéristiques des acquisitions des 3 instruments de mesures
Illustration 26 : Quelques caractéristiques des variables enregistrées par les instruments 43
Illustration 27 : Caractéristiques des vagues (hauteur significative Hs, période pic Tp), enregistrées sur les 3 capteurs Extrait sur la période d'enregistrement
Illustration 28 : Comparaison des directions pic (Dp) des vagues enregistrées sur les 2 capteurs ADCP et Aquadop Sud45
Illustration 29 : Directions et hauteurs significatives des vagues mesurées par l'ADCP, pendant la période de mesures
Illustration 30 : Vitesses des courants enregistrées (m/s) par les trois appareils de mesure sur la période du 04/12/2012 au 20/02/2012
Illustration 31 : Vitesse et direction de provenance des courants enregistrées par l'ADCP durant la période de mesure
Illustration 32 : Variation des niveaux d'eau instantanés enregistrés par rapport au niveau d'eau moyen de chaque capteur pendant la période d'acquisition
Illustration 33 : Rose des houles obtenue à partir des données disponibles à la bouée Candhis/CEREMA Fort-de-France (bouée 97204)
Illustration 34 : Emprise du modèle IOWAGA-CRB (image Google Earth)
Illustration 35 : Comparaison des hauteurs caractéristiques des vagues Hs, entre observations à la bouée 42060 et données issues du modèle IOWAGA-CRB forcé par les vents CFSR pour l'année 2009
Illustration 36 : Comparaison des hauteurs caractéristiques des vagues Hs, entre les observations à la bouée Candhis (Fort de France) et les données issues du modèle IOWAGA-CRB forcé par les vents CFSR (à gauche) ou forcé par les vents ECMWF (à droite) pour l'année 2009
Illustration 37 : Localisation des points IOWAGA analysés. Les point retenus pour la classification des types de vagues sont encerclés en rouge (points 65 et 123)
Illustration 38 : Classification des vagues au nord du site d'étude (pt 123)
Illustration 39 : Classification des vagues au Sud du site d'étude (pt 65)
Illustration 40 : Répartition annuelle des différents types de vagues au point 123 (au nord) et au point 65 (au sud)
Illustration 41 : Emboitement de modèles numériques utilisés pour la modélisation SWAN 55
Illustration 42 : Comparaison des données mesurées par l'ADCP avec les résultats de la simulation Swan lors des deux dernières semaines de décembre 2012
Illustration 43 : Définition des 5 situations types en correspondance avec les 9 classes déterminées au point 65 et point 123
Illustration 44 : Croquis schématique des 5 situations types de vagues aux frontières du domaine d'étude

Illustration 45 : Paramètres de forçage appliqués aux limites du domaine 1 pour chaque situation 60
Illustration 46 : Hauteurs et directions des vagues pour la situation type S1
Illustration 47 : Hauteurs et directions des vagues pour la situation type S2
Illustration 48 : Hauteurs et directions des vagues pour la situation type S3
Illustration 49 : Hauteurs et directions des vagues pour la situation type S4
Illustration 50 : Hauteurs et directions des vagues pour la situation type S5
Illustration 51 : Comparaison des caractéristiques des vagues obtenues par le modèle à l'endroit du capteur ADCP (Illustration 46 à Illustration 50) avec les mesures réelles de l'ADCP. Les losanges verts indiquent des situations s'étant produites lors de la période de mesure (Décembre et janvier). À l'inverse, les losanges oranges indiquent des situations ne s'étant pas produites lors de la période de mesure
Illustration 52 : Caractéristiques des vagues obtenues par le modèle à l'endroit de l'ADCP pour les 5 situations types
Illustration 53 : Tailles de grain obtenues pour chaque capteur hydrodynamique. *Temps de mobilité : rapport entre durée de mise en mouvement et durée de la mesure hydrodynamique valide. Dg : diamètre des grains)
Illustration 54 : Taille de grain maximale potentiellement mise en mouvement sous l'action des courants et vagues (D50CH), des vagues seules (D50H) et des courants seuls (D50C) : (a) Aquadopp Nord, (b) Aquadopp Sud
Illustration 55 : Localisation des différents éléments servant au calcul des flux sédimentaires longshore
Illustration 56 : Direction de la dérive littorale pour chaque situation de vagues (à gauche) et pour l'ensemble de l'année (à droite), tenant compte de l'occurrence moyenne de chaque au cours de l'année En bleu, dérive dominante vers le nord. En rouge, dérive dominante vers le sud 69
Illustration 57 : Volumes de sable en m ³ /an/m transporté par chaque situation de vagues. Les deux dernières colonnes indiquent le bilan annuel résiduel. En bleu, dérive dominante vers le nord. En rouge, dérive dominante vers le sud
Illustration 58 : Bilan des flux et orientation des dérives dominantes et secondaires sur le littoral de Schœlcher au cours d'une année. (Flux total = flux annuel par direction)
Illustration 59 : Piège à sédiment avant montage (à gauche) et installé sous 1 mètre d'eau (à droite) - Source : UAG
Illustration 60 : Conditions de vagues le 13 juin 2013 (Hs et direction), source : <u>http://www.previmer.org</u>
Illustration 61 : Conditions de vagues le 13 décembre 2013 (Hs et direction), source : <u>http://www.previmer.org</u>
Illustration 62 : Comparaison de l'évolution du stock sédimentaire sur l'extrémité sud de la plage de l'anse Madame, pour des conditions de niveau d'eau comparable, par superposition des clichés photographiques
Illustration 63 : Localisation des profils pour le suivi topographique (Source : Rapport UAG en Annexe 6)
Illustration 64 : Evolutions successives des profils de plage mesurés par l'UAG de janvier 2013 à javier 2014
Illustration 65 : Critères géomorphologiques pour la définition du trait de côte (Source : Rapport BRGM/RP-61686-FR, Lemoigne et al., 2013)
Illustration 66 : Mobilité du trait de côte à long terme, sur la baie de Schœlcher (Source : Rapport BRGM/RP-61686-FR, Lemoigne et al., 2013)

Illustration 67 : Mobilité du trait de côte à long terme (1951- 2010) et à court terme (2004-2010), sur la partie nord de la zone d'étude (Source modifiée : Rapport BRGM/RP-63238-FR, Nachbaur et al., 2014)
Illustration 68 : Mobilité du trait de côte à long terme (1951-2010) et à court terme (2004-2010), sur la partie sud de la zone d'étude (Source modifiée : apport BRGM/RP-63238-FR, Nachbaur et al., 2014)
Illustration 69 : Constat sur la mobilité du trait de côte des plages du secteur d'étude
Illustration 70 : Délimitation des cellules hydro-sédimentaires sur la baie de Schœlcher 85
Illustration 71 : Délimitation des cellules hydro-sédimentaires sur le site pilote
Illustration 72 : Photographie aérienne de Fond Bourlet
Illustration 73 : Est de la plage de Fond Bourlet avec la présence d'une berme, limitant deux classes de sédiments
Illustration 74 : Evolution des traits de côte 1951 et 2010 de Fond Bourlet (fond Ortho©IGN 2010
Illustration 75 : Photographie aérienne de Fond Bellemare
Illustration 76 : Partie ouest de la plage de Fond Bellemare, depuis le terre-plein
Illustration 77 - Evolution des traits de côte 1951 et 2010 de Fond Bellemare (fond Ortho©IGN 2010)
Illustration 78 : Photographie aérienne de Fond Bernier
Illustration 79 : Partie ouest de Fond Bernier limitée par une falaise. Sédiments grossiers à l'ouest de l'embouchure de la ravine (en bas de la photo à droite)
Illustration 80 : Evolution des traits de côte 1951 et 2010 de Fond Bernier (fond Ortho©IGN 2010)
Illustration 81 : Photographie aérienne de Fond Lahaye
Illustration 82 : Plage en rive gauche de Fond-Lahaye, évolution de la granulométrie des sédiments
Illustration 83 : Evolution des traits de côte 1951 et 2010 de la plage de Fond Lahaye (fond Ortho©IGN 2010)
Illustration 84 : Photographie aérienne de la plage de Madiana
Illustration 85 : Evolution des traits de côte 1951 et 2010 de la plage de Madiana (fond Ortho©IGN 2010)
Illustration 86 : Evolution des traits de côte 1951 et 2010 de l'Anse Gouraud. (fond Ortho©IGN 2010)
Illustration 87 : Plage prélevée à la Pointe des Nègres / Sables grossiers au pied d'une zone urbanisée
Illustration 88 : Evolution des traits de côte 1951 et 2010 à la Pointe des Nègres (fond Ortho©IGN 2010)
Illustration 89 : Photographie aérienne de la plage du Lido
Illustration 90 : Photographie aérienne de la plage de l'Anse Madame en rive droite de la rivière Case-Navire
Illustration 91 : Photographie aérienne de la plage du Bourg en rive gauche de la rivière Case- Navire
Illustration 92 : Evolution des traits de côte 1951 et 2010 des plages de Schœlcher (fond Ortho©IGN 2010)

Illustration 93 : Correspondance entre dérive littorale et mobilité du trait de côte sur la cellule Anse Colas-bourg de Schœlcher)3
Illustration 94 : Facteur intervenant dans la formation d'un bouchon sableux. Source : <u>http://tata31.eklablog.com/</u> (modifiée))4
Illustration 95 : Photographie aérienne de l'aménagement des Arawaks, à l'embouchure de la rivière Case Navire, centre ville de Schœlcher)5
Illustration 96 : Avantages et limites des différentes solutions de protection contre la mer Source : Balouin et al. (2012))8
Illustration 97 : Solution envisageable pour lutter contre l'érosion à Fond Bourlet 11	11
Illustration 98 : Possibilité technique pour lutter contre l'érosion dans la cellule bourg de Schoelcher – Anse Colas	12

Liste des annexes

Annexe 1 Profils de plage utilisés pour le calcul des pentes	19
Annexe 2 Mobilité sédimentaire au niveau des capteurs hydrodynamiques – Aquadopp Nord, Sud et ADCP	21
Annexe 3 Caractéristiques granulométriques des échantillons - Présentation statistique des résultats du CESBTP	23
Annexe 4 Résultats des analyses granulométriques du CESBTP à Anse Madame – Rivière Case Navire	25
Annexe 5 Note BRGM concernant la possibilité de rechargement de plage à partir des sédiments issus du curage de l'embouchure de la Rivière Case-navire	27
Annexe 6 Suivi topographique de l'évolution des plages de Schœlcher	29
Annexe 7 Piégage sédimentaire : analyse des flux sédimentaires dominants par piégeage Kra	ius 31

1. Contexte et organisation de l'étude

1.1. CONTEXTE

La demande de la CACEM

La CACEM a été interpellée par la commune de Schœlcher au sujet de l'ensablement régulier de l'embouchure de la rivière Case-Navire et des conséquences néfastes pour la commune et ses habitants. En parallèle, les plages voisines évoluent également (Madiana, Anse Colas..). La dynamique côtière de cette zone parait interconnectée, sans qu'aucune étude n'ait à l'heure actuelle, quantifié ou qualifié les agents hydrodynamiques, à une échelle spatiale adaptée à ces échanges sédimentaires.

Il convient d'aborder cette problématique dans une logique durable de gestion intégrée du littoral. Effectivement, le littoral est un système dont l'équilibre dynamique dépend des échanges et des transferts de sédiments qui se produisent latéralement sous l'action des houles et des courants, avec l'arrière-plage et entre le large et la côte. C'est un système ouvert et il est d'usage d'appréhender son équilibre au sein d'unités homogènes.

Objectif du projet

Pour apporter des réponses sur les dysfonctionnements observés, il convient d'étudier le fonctionnement hydro-sédimentaire à une échelle spatiale adaptée à ces échanges sédimentaires, soit la baie de Schœlcher, qui s'étend de la pointe de la Plate-Forme (Case-Pilote) au nord jusqu'à la Pointe des Nègres (Schœlcher) au sud.

Aussi, la CACEM a passé une convention de recherche et développement partagés en service public avec le BRGM en 2011, ayant pour objet la réalisation d'une étude visant à établir un schéma de fonctionnement hydro-sédimentaire de cette baie pour apporter des éléments à la compréhension des dysfonctionnements observés.

1.2. ORGANISATION

Organisation du rapport

Le rapport s'articule en plusieurs chapitres :

- Le chapitre 2 présente la baie de Schœlcher ainsi que l'embouchure de la rivière Case Navire ;
- Le chapitre 3 vise à caractériser les agents hydrodynamiques (c'est-à-dire les vagues, les courants et les niveaux d'eau), sur la baie de Schœlcher et sur le site pilote ;
- Le chapitre 4 vise à caractériser la dynamique hydro-sédimentaire sur le site pilote, à partir des mesures in-situ et des calculs empiriques.

- Le chapitre 5 s'attache à définir et présenter chaque cellule sédimentaire constituant la baie de Schœlcher, à partir de l'ensemble des données acquises (terrain, analyse granulométrique, ..) et des constats historiques.
- Enfin le chapitre 6 synthétise les enseignements que l'on peut tirer de cette étude, ce qui conduit ensuite à formaliser dans le chapitre 7 des préconisations de gestions adaptées.

Présentation des mesures acquises dans la cadre de l'étude

Plusieurs types de mesures ont été acquises dans le cadre de ce projet pour compléter l'existant et préciser la connaissance du fonctionnement hydro-sédimentaire de la baie de Schœlcher. Les données ont été, pour la plupart, acquises sur le site pilote.

L'UAG et le BRGM ont partagé la gestion des différentes campagnes de mesures.

L'Illustration 1 synthétise les différents types de mesures acquises.

	Nature des données	Emprise spatiale	Durée d'acquisition	Fréquence d'acquisition	Responsable de la campagne
Hydro-dynamique	Niveau d'eau, courant	En 3 points fixes	5 mois	Continue	BRGM
Hydro-sédimentaire	Flux sédimentaire (cross-shore et long shore)	En 2 points	24 h	Bimensuel	UAG
Granulométrique	Analyse granulométrique	26 prélèvements répartis sur 9 plages	-	-	CES-CEBTP
Topographique	Profil 2D des plages	3 profils par plage sur 3 plages	1 an	mensuel	UAG

Illustration 1 : Description des différents types de mesures acquises dans le cadre de cette étude

1.3. PRÉCISION TERMINOLOGIQUE

Dans la suite du rapport, on distinguera différentes zones de dynamique sédimentaire (Illustration 2) :

- le « large » ;
- la « côte » correspond à la zone de déferlement possible, à proximité immédiate de la plage, dans laquelle, le transport est régi par un flux cross-shore (perpendiculaire à la côte) et un flux long shore (ou dérive littorale), parrallèle à la côte. Le sens et l'intensité de la dérive littorale résulte de l'angle d'incidence des vagues sur le littoral;
- la « zone émergée ».

L'étude s'intéressera particulièrement au flux long shore de dérive littorale.



Illustration 2 : Définition des différentes zones de dynamique sédimentaire

2. Contexte général

2.1. LA BAIE DE SCHŒLCHER ET LE SITE PILOTE

2.1.1. Présentation géographique

Dans la suite du rapport, nous appellerons, par commodité, "*Baie de Schoelcher*" l'unité littorale de 9 km environ qui s'étend depuis la Pointe Plate-Forme à Case-Pilote au nord jusqu'à la Pointe des Nègres au sud (Illustration 3). Cette unité comprend l'intégralité du littoral de la commune de Schœlcher et une partie de la commune de Case-Pilote au nord.

Cette baie est constituée elle-même d'une succession de micro-baies (appelée « anses » ou « fond »).



Illustration 3 : Carte de la localisation de la baie de Schœlcher

Le « site pilote » de l'étude sur lequel sont concentrées les mesures (hydrodynamiques, topographiques, …), est localisé au centre de la baie. Il s'étend depuis la plage de l'Anse Colas (appelé aussi plage du Lido), au nord et jusqu'à la plage de Madiana, au sud (*Illustration 4*).



Illustration 4 : Présentation de la baie de Schœlcher et du site pilote (fond cartographique de l'IGN)

2.1.2. Le réseau hydrographique

Les cours d'eau qui se jettent dans la baie de Schœlcher sont, du nord au sud :

- Rivière de Fond Bourlet
- Cours d'eau de la Caraïbe
- Rivière de Fond Bellemare
- Cours d'eau de Fond Bernier
- Rivière Fond-Lahaye
- Cours d'eau de l'Anse Colas
- Rivière Case-Navire
- Rivière Fond-Nigaud
- Cours d'eau d'Anse Gouraud
- Cours d'eau de la Pointe des Nègres

Parmi ce réseau hydrographique, la rivière Case-Navire a le linéaire le plus long. Cette rivière est issue de la convergence des rivières Duclos, Dumauzé, Absalon ainsi que de la ravine Clark naissant toutes les quatre, aux pieds du Piton Lacroix et du Piton de l'Alma. La rivière parcourt

13,7 km environ avant de se jeter dans la baie, entre l'Anse Madame au nord et la plage du bourg au Sud (*Safege, 2010*).

Les débits mesurés sur la rivière Case-Navire confirment la forte saisonnalité météorologique et notamment pluviométriques (*Illustration 5*). Le climat martiniquais se caractérise en effet par 2 régimes : le carême, un régime sec dominé par les alizés (de février à avril essentiellement) et l'hivernage, chaud et humide (de juillet à octobre). Pendant l'hivernage, les conditions climatiques, liées aux positions respectives de l'anticyclone des Açores et de la Zone de Convergence Inter Tropicale (Z.C.I.T.), peuvent entrainer la formation de cyclones.



Illustration 5 : Débits moyens mensuels à la station hydrométrique de Fond-Rousseau, Rivière Case-Navire, Schœlcher, pour les années 1988, 1989, 1995 et 2001 (Source : DEAL)

2.1.3. Typologie du littoral

Le linéaire côtier de la baie de Schœlcher comprend 8 types de côte, présentés dans l'Illustration 6.



Illustration 6 : Répartition du linéaire côtier de la baie de Schœlcher. Source Lemoigne et al. 2013, modifié.

Les côtes rocheuses issues de l'histoire volcanique de l'île, sont largement dominantes dans la baie de Schœlcher (57 % du linéaire). La seconde typologie la plus représentée concerne les plages sableuses (18 %). Sur la zone d'étude, on parle aussi de micro-plages car certaines sont très peu étendues. Plus précisément, le linéaire côtier comprend 12 plages ou micro-plages, soit du nord au sud :

- Micro-plage de Fond Bourlet
- Micro-plage de Fond Bellemare
- Micro-plage de Fond Bernier
- Plage de Fond-Lahaye
- Plage de l'Anse Colas (appelé aussi Plage du Lido)
- Plage de l'Anse Madame
- Plage du Bourg
- Plage de Madiana
- Plage de Fond-Nigaud
- Micro-plage de l'Anse Gouraud
- Micro-plage de la Batelière (sable importé)
- Micro-plage de la Pointe des Nègres

La typologie côtière sur la zone étudiée est représentée dans les Illustration 7 et Illustration 8.



Illustration 7 : Cartographie de la typologie côtière de la zone nord de l'étude. Fond : Orthophotographie aérienne de 2010 – IGN. Source : Lemoigne et al., 2013 modifié.



Illustration 8: Cartographie de la typologie côtière au sud de la zone d'étude. Fond : Orthophotographie aérienne de 2010 – IGN. Source : Lemoigne et al., 2013 modifié.

2.1.4. Présentation de la variabilité granulométrique de la baie de Schœlcher

Une campagne de prélèvements de sédiments a eu lieu le 18 avril 2013. L'analyse granulométrique, confiée au laboratoire martiniquais CES-CEBTP, a porté sur les 9 plages principales de la baie de Schœlcher ainsi qu'au droit des 3 courantomètres (ADCP et Aquadopps). Au total, 26 échantillons ont été prélevés au niveau du jet de rive des plages (et 3 en mer). À l'intérieur d'une même plage, chaque échantillon a été identifié par une lettre L'Illustration 11 positionne ces échantillons.

L'Illustration 9 présente les échantillons prélevés, du nord au sud.



Illustration 9 : Présentation des échantillons, depuis Fond Bourlet au nord-ouest jusqu'à Madiana au sud

Les analyses granulométriques permettront de confronter la répartition spatiale de ces stocks sédimentaires avec les constats de mobilité observés. Ces constats seront présentées plages par plages, dans le chapitre 5.

Par ailleurs, sur le site pilote et au droit des capteurs, les mesures granulométriques serviront à évaluer le transport sédimentaire, qui fait l'objet du chapitre 4. En effet, le transport sédimentaire parallèle à la côte (flux longshore) peut être estimé par des calculs empiriques qui nécessitent de connaitre la granulométrie des sédiments.

Dans la suite du rapport, nous utiliserons la classification (Wenwoth, 1922) pour classer chaque échantillon à partir la granulométrie médiane appelée d50 (Illustration 10). L'Illustration 11 présente les résultats obtenus dans la baie de Schœlcher.

Appellation	Granulométrie (d50)		
Sable fin	< 0,25 mm		
Sable moven	0.25 à 0.5 mm		
Sable grossier	0.5 à 2 mm		
Gravier (fins et grossiers)	> 2 mm		

Illustration 10 : Classification granulométrique (Wenwoth, 1922)



Illustration 11 : Granulométrie médiane (d50) des échantillons, d'après la classification de Wenwoth (1922)

Synthèse des analyses granulométriques

L'analyse des résultats montre la répartition suivante (Illustration 12) :

- Les sédiments prélevés en mer (au niveau des capteurs, entre 8 et 14 m de profondeur) présentent une granulométrie plus fine que les sédiments moyens/grossiers du stock émergé. Notons que l'analyse granulométrique des sédiments marins, au niveau de la

future digue de protection à Fond Lahaye conduit à cette même granulométrie, fine, en mer (EGIS, 2012). ;

- La plupart des échantillons (20/26) prélevés sur le jet de rive, sont des sables moyens et grossiers, avec une granulométrie médiane inférieure à 0.5 mm pour la plupart. Leur nature est un mélange de minéraux sombres (origine terrigène) et d'éléments clairs (bioclastique d'origine coralligène);
- 3 échantillons correspondent à des graviers, d'origine terrigènes et corallien (surtout pour Fond Bellemare);
- 1 échantillon (Fond Bourlet) correspond à des galets (granulométrie médiane d50 = 72 mm).

L'ensemble des échantillons sableux sont mal voire très mal classés, rendant plus difficile l'interprétation du transport sédimentaire à partir de la granulométrie.

Les sédiments les plus grossiers (graviers et galets) se retrouvent en sortie des embouchures (en l'occurrence, Pointe des Nègres et Fond Bellemare) et à l'extrémité sud-est des micro-baies de Fond Bourlet et de Fond Lahaye.



Illustration 12 : Granulométrie médiane (d50 en mm) des échantillons (en vert : sable fin, en jaune : sable moyen, en orange : sable grossier, en rouge et violet : graviers et cailloux)

Par ailleurs, ces analyses ont été confrontées aux prélèvements marins effectués par Créocéan en 1998 de part et d'autres de l'embouchure. Les sédiments sableux prédominent également (devant la plage du bourg et d'Anse Madame). Néanmoins, un mélange de sable et de « rochers » sont observés sous très faible lame d'eau (3 m) et à l'embouchure de la rivière.



Illustration 13 : Résultats de la campagne d'analyse granulométrique de Créocéan (1998)

Interprétations préliminaires

On peut observer une forte variation de la coloration de ces différents sables. Plus la couleur de l'échantillon de sédiments sera foncée et plus sa proportion en minéraux lourds sera importante ce qui correspond à une dominance d'apports terrigènes. Les minéraux d'origine terrigène sont issus de la dégradation des roches volcaniques du bassin versant ou des falaises qui bordent le littoral.

En observant l'Illustration 9, au sein même d'une même plage, on peut voir un dégradé de la colorimétrie des échantillons, soit le mélange progressif des minéraux fluviatiles (provenant de la terre) avec les sédiments coralligène (provenant de la mer). Ainsi, l'échantillon B à l'extrémité sud-est de la plage du bourg est plus foncé que l'échantillon A, situé à l'extrémité nord-ouest. Cette différence pourrait être expliquée par un transport sédimentaire du sud vers le nord, où les apports marins plus clairs dilueraient progressivement la concentration d'apports terrigènes.

L'échantillon de l'Anse Colas et celui de l'extrémité nord de l'Anse Madame sont les plus riches en minéraux lourds de la zone d'étude. Cela peut être expliqué par les éléments terrigènes transportés par la rivière Case-Navire en période de hautes-eaux d'une part et par le démantèlement de la falaise pour l'Anse Colas. Ces observations coïncideraient avec un transport prédominant depuis l'embouchure vers le nord.

2.2. AMÉNAGEMENTS DE L'EMBOUCHURE DE LA RIVIÈRE CASE-NAVIRE ET RETENUE DE SÉDIMENTS À L'EXUTOIRE

2.2.1. Historique de l'aménagement de l'embouchure

Le front de mer du bourg de Schœlcher est marqué par la présence de deux terre-pleins délimitant l'embouchure de la rivière Case-Navire. D'après *Créocéan (1998), c*es zones de remblai régulièrement « alimentées » depuis 1973 sont entièrement artificielles et représentent une avancée d'environ 100 m vers le large par rapport au trait de côte de 1951. Les zones de remblais sont bien identifiables sur l'orthophotographie de 1982 (IGN), en Illustration 14.



Illustration 14 : Extension de l'embouchure de la rivière Case-Navire par alimentation anthropique depuis 1973 visible sur l'orthophotographie de 1982.

L'aménagement du terre-plein de la rive gauche (et notamment les enrochements en pied) a été réalisé en 2001. En 2006, la commune de Schœlcher a fait réaliser l'extension de l'aménagement en rive droite (*Illustration 15*).



Illustration 15 : Aménagement de la rive gauche en 2001 visible sur l'orthophotographie de 2004. Aménagement de la rive droite en 2006 visible sur l'orthophotographie de 2010.

2.2.2. Description du bouchon sableux de l'embouchure

L'embouchure de la rivière Case-Navire s'obstrue régulièrement par une accumulation de sédiment, décrite comme un « bouchon sableux ». Cet obstacle à l'écoulement des eaux fluviales se forme préférentiellement en période de Carême, période à laquelle le débit de la rivière Case-Navire est insuffisant pour chasser les sédiments (Illustration 5). À l'inverse, lors d'épisodes pluvieux importants, le débit de la rivière peut remobiliser partiellement ou totalement les sédiments qui constituent le barrage jusqu'à supprimer le bouchon et rétablir l'écoulement.

La retenue d'eau consécutive à ce « bouchon sableux » provoque un refoulement des eaux vers l'amont, par les réseaux d'eaux pluviales et augmente le risque d'inondation lors de crues ou de pluies violentes. La mairie de Schœlcher doit procéder régulièrement au curage de l'embouchure de la rivière Case-Navire. Des témoignages rapportent que ces problèmes d'ensablement se seraient accentués à partir de 2006, lors de la mise en place de l'extension en rive-droite.

Ce phénomène est bien connu en Martinique. Il s'agit d'une caractéristique des embouchures de l'île : les eaux douces à saumâtres en amont du barrage naturel de sédiments stagnent (sous forme de petits marais), ce qui leur a valu l'appellation locale de « marigots ».

Ce barrage naturel est d'ailleurs visible sur les photographies de 1951, 1982, 1988, 2000 avant les aménagements récents (*Illustration 16*).

Il est intéressant de rappeler ici les témoignages recueillis des résidents du bourg de Schœlcher. Le bouchon sableux aurait toujours existé, bien avant l'aménagement actuel (2001 et 2006) et possiblement avant l'aménagement initial de 1973. Une octogénaire de Schœlcher se souvient avoir joué sur le sable du bouchon étant enfant, pendant que sa mère et d'autres femmes ramassaient le sable pour le déposer dans des remorques tirées par des bœufs. De plus, dans le rapport de Créocéan (1998), il est énoncé : « *II y a une trentaine d'années, les sables à l'embouchure ont fait l'objet d'une exploitation intense par le Maire de l'époque. Il semblerait qu'en période de Carême, le chargement de 10 à 40 camions de sables était extrait de la rivière chaque jour. Le stock de sables à l'embouchure se reconstituait très rapidement (« plus on en enlevait, plus il en revenait ») au détriment des sables littoraux. Ces extractions, réalisées au détriment des sables littoraux, ont certainement eu un impact à la côte (diminution du stock de sables). »*



Illustration 16 : Retenue de sédiments visible à l'embouchure de la rivière Case-navire (Orthophotographies de 1988 et 2000).

2.2.3. Description des sédiments à l'embouchure de la rivière Case-Navire

Trois échantillons ont été prélevés sur le bouchon sableux, à l'embouchure (Illustration 19). La granulométrie médiane (d50 entre 0.5 et 0.8) correspond à des sables grossiers. Ces valeurs sont confirmées par les deux prélèvements du CES-CEBTP à l'embouchure (d50 = 0.55 et 0.85) (rapport en Annexe 4). Par ailleurs, d'après les observations de terrain, les sédiments émergés du bouchon sont en majorité constitués de sédiments marins.

En 1998, les prélèvements effectués en mer par Créocéan (1998) sans bouchon sableux, avaient mis en évidence l'accumulation d'éléments grossiers au débouché en mer et d'éléments plus fins repoussés au large. Depuis, la morphologie de l'embouchure a évolué, mais les prélèvements en mer aux capteurs (7 à 14 m de profondeur) confirment la présence d'éléments fins à moyens au large de l'embouchure.



Illustration 17 : Embouchure de la rivière Case-Navire, depuis la rive droite, le 18 avril 2013.



Illustration 18 : Embouchure de la Rivière Case-Navire depuis la rive gauche, le 12 juillet 2013



Illustration 19 : Localisation des échantillons prélevés à l'embouchure de la rivière Case-Navire En jaune : sable moyen (0.25 à 0,5 mm), En orange : sable grossier (0.5 à 2 mm)



Illustration 20 : Echantillons prélevés sur la plage Anse Madame et à l'embouchure (CES CEBTP, 2012)
2.2.4. Suivi photographique de l'embouchure de la Rivière Case-Navire

Les photos suivantes présentent l'embouchure à plusieurs dates entre 2004 et 2014 grâce aux images satellites disponibles via Google Earth. Excepté sur la photo de 2004, l'embouchure apparait systématiquement obturée par un bouchon. Le bouchon se forme systématiquement au même niveau.



Image © 2014 DigitalGlobe

08/10/2011

0

TOC







Illustration 21 : Le bouchon sableux depuis plusieurs images satellites succesives entre le 08/10/2011 et le 29/03/2014 (@Google Earth)

Afin de suivre l'évolution de l'ensablement de l'embouchure de la rivière Case-Navire, une campagne photographique a été réalisée du 20 mars au 9 mai 2012, avec un protocole précis reproductible : à marée basse, à partir d'un point fixe et selon une orientation fixe.

Grâce à la superposition des clichés photographiques, on observe l'évolution du « bouchon sableux » entre ces deux dates (Illustration 22). L'accumulation a pris naissance en rive gauche à l'extrémité de l'embouchure (avant le 23 mars). Avec le temps, l'accumulation se développe vers l'amont de la rivière. À partir de fin mars, les sédiments (partie émergée à marée basse) atteignent l'axe central de la rivière. Entre le 23 avril et le 9 mai, l'accumulation se déplace nettement vers l'amont. Le passage d'un épisode pluvieux le 9 mai a chassé les sédiments, avant qu'ils n'aient pu boucher intégralement l'embouchure.



Illustration 22 : Evolution de l'emprise du bouchon sableux (sédiments émergés), par superposition des clichés photographiques prises de vue à marée basse

3. Caractérisation des agents hydrodynamiques

Cette partie s'attache à synthétiser l'ensemble des données produites à l'occasion de cette étude, sur les agents hydrodynamiques. Au-delà de leur exploitation dans la suite du rapport à des fins de caractérisation hydro-sédimentaire, ces données permettent d'apporter des informations quantitatives sur les agents hydrodynamiques sur le littoral Schœlcher de jusqu'ici très mal connus.

Les données hydrodynamiques acquises et disponibles sont :

- Des mesures de vagues et de courants issues d'acquisition in situ (présentées dans le § 3.1);
- Une classification statistique des états de mer attendus au large, de part et d'autre de la baie de Schœlcher (présentée au § 3.3) ;
- Une modélisation des états de mer à la côte à partir des 5 classes identifiées au large (présentée au § 3.4). Ces données seront utilisées par la suite, pour déterminer les flux sédimentaires *longshore*.

L'acquisition de données *in situ* est indispensable pour mieux comprendre les particularités des vagues et des courants atteignant le littoral de Schœlcher. Dans la suite du rapport, ces données seront utilisées d'une part, pour caler les modèles de vagues (§ 3.4) et d'autre part, pour quantifier les transferts sédimentaires (chapitre 4).

3.1. ACQUISITIONS IN SITU DES DONNÉES HYDRODYNAMIQUES

Trois instruments de mesures (deux Aquadopps et un ACDP, *Illustration 23*) ont été installés sur le littoral de Schœlcher pendant 5 mois afin d'acquérir les données hydrodynamiques nécessaires (c'est-à-dire les vagues, les courants et les niveaux d'eau). La campagne de mesures a été réalisée du 4 décembre 2012 au 7 mai 2013.



Illustration 23 : À gauche, ADCP avant sa mise à l'eau - À droite, un des deux Aquadopp avant nettoyage mensuel

Les 3 instruments ont été mouillés le 4 décembre 2012 par une équipe de plongeurs professionnels. Ils ont été installés autour de l'embouchure de la rivière Case-Navire aux points indiqués dans l'Illustration 24, à des distances comprises entre 150 et 300 m des côtes et entre 5 et 15 m profondeur. Afin de stabiliser les instruments posés au fond pendant toute la période d'acquisition, les corps-morts ont été ancrés dans le sable sur 1 mètre de profondeur par des barres métalliques.

Comme la température de l'eau (proche des 27°C) favorise la prolifération de salissures marines sur les instruments, une équipe de plongeurs est intervenue une fois par mois, afin de nettoyer les capteurs des instruments et de garantir au mieux la qualité des mesures.

Les caractéristiques générales des données acquises sont synthétisées dans l'Illustration 25



Illustration 24 : Localisation des points de mouillage de l'ADCP et des Aquadopp.

	Aquadopp Nord	Aquadopp Sud	ADCP	
Profondeur de mouillage	14,2 m	10,8 m	7,8 m	
Niveau d'eau : fréquence d'acquisition	0,2	5 s	0,25 s	
Courants (vitesses et directions) : fréquence d'acquisition	s et directions) : lice d'acquisition			
Vagues (Hs, Tp) : fréquence de la reconstitution spectrale	1h	1h	2h	

Illustration 25 : Caractéristiques des acquisitions des 3 instruments de mesures

Pendant la période de mouillage, plusieurs dysfonctionnements ont été signalés par les plongeurs :

- Le câble qui relie l'ADCP à la batterie secondaire a été arraché. Les données ont pu être acquises seulement pendant les 3 premiers mois.
- L'Aquadopp nord a été renversé en janvier sur une période inférieure à 10 jours. Il a été remis en place le 20 janvier 2013.
- L'Aquadopp sud a été renversé par un filet de pêche, pendant le mois d'avril. Il a été remis en place par l'équipe de plongeurs, le 10 avril 2013. Ce scénario s'est reproduit en mai.

3.1.1. Mesures de vagues acquises

Les paramètres conventionnellement utilisés pour décrire les vagues dans les études littorales sont :

- **Hs (m) :** « *Hauteur significative des vagues* » exprimée en mètres, correspondant à la moyenne du tiers des plus fortes vagues.
- **Tp (s) :** « *Période pic des vagues* », correspondant à la durée en secondes entre deux crêtes de vagues dominantes c'est-à-dire pour laquelle la densité spectrale est maximale.
- **Dp (°) :** « *Direction pic de provenance des vagues* » correspondant à la direction de provenance des vagues, en degrés au moment du maximum d'énergie spectral. L'angle est compté positivement, suivant le sens des aiguilles par rapport au nord géographique (convention nautique).

Les caractéristiques des vagues (minimum, moyenne et maximum) mesurées pendant la campagne sont synthétisées dans l'Illustration 26. L'Illustration 27 représente les variations temporelles des mesures enregistrées sur les 3 capteurs pour les paramètres de hauteurs significatives et périodes pics, pendant la campagne.

			Vagues						Courants				
			Hs (m)			Hs (m) Tp (s) Dp (°		Dp (°)	Vites	se (en i	m/s)	Dir (°)	
	Durée d'acquisition (en jours)	moy	min	max	moy	min	max	mode	moy	min	max	mode	
Aquadopp Nord	141	0,26	0,2	0,48	6,7	2	21,3	270	0,06	0	0,47	180	
Aquadopp Sud	96	0,25	0,19	0,5	7,5	2	19,6	270	0,09	0	0,53	180	
ADCP	29	0,18	0,11	0,38	9,4	2	20	264	0,09	0	0,34	186	

Illustration 26 : Quelques caractéristiques des variables enregistrées par les instruments



Illustration 27 : Caractéristiques des vagues (hauteur significative Hs, période pic Tp), enregistrées sur les 3 capteurs Extrait sur la période d'enregistrement.

Hauteurs significatives des vagues (Hs)

Sur la période d'enregistrement, les données obtenues sont très proches pour les Aquadopp Nord et Sud. En revanche, les enregistrements obtenus par l'ADCP présentent des valeurs inférieures, de l'ordre de 10 cm.

Ces différences sont dues à la fréquence d'acquisition (1 Hz) et aux caractéristiques des capteurs Aquadopp qui, placés par 10 à 15 m de profondeur, ne parviennent pas à enregistrer avec une précision suffisante les vagues de faibles hauteurs et petites périodes. Les capteurs de l'ADCP étant plus performants, on retiendra préférentiellement les mesures issues de cet appareil. On notera toutefois que pour des valeurs Hs de vagues supérieures à 20 cm, les valeurs issues des deux types de capteur se rejoignent (*Illustration 27*). Dans l'ensemble de la période de mesures les caractéristiques des vagues sont globalement de faible à très faible énergie (Hs < 0.3 m).

Période (Tp)

Le paramètre discuté ici est la période pic (i.e. la période des vagues associées au pic d'énergie du spectre de vague). Les périodes Tp enregistrées varient fortement, de 2 à 20 secondes mais sont généralement comprises entre 6 et 9 secondes. Ces périodes relativement élevées sont dues à la nature des vagues, originaire de l'Est (Atlantique) et ayant contourné l'île. Elles sont également très variables ce qui montre que dans la zone de mouillage des capteurs, les conditions de vagues sont très instables et complexes.

Nota : la très faible hauteur des vagues rend la détection des périodes des vagues peu précise, les capteurs étant aux limites de leur capacité de détection.

Direction (Dp)

Les secteurs directionnels de provenance des vagues sont clairs. Il apparait que la provenance dominante est comprise entre 250 et 270° (convention Nautique) (Illustration 28). Toutefois des

secteurs secondaires, sont également observables : Nord-Ouest 270-330° et Sud-Ouest 180-250°.



Illustration 28 : Comparaison des directions pic (Dp) des vagues enregistrées sur les 2 capteurs ADCP et Aquadop Sud

Les données enregistrées par l'Aquadopp Sud présentent des valeurs proches de celle de l'ADCP. Du fait des sensibilités différentes des capteurs, les données enregistrées par l'ADCP (Illustration 29) sont considérées comme les plus fiables.



Illustration 29 : Directions et hauteurs significatives des vagues mesurées par l'ADCP, pendant la période de mesures

3.1.2. Mesures de courant acquises

Les courants mesurés intègrent aussi bien l'effet de la marée, du vent et des vagues. Les caractéristiques fondamentales de ces courants sont :

- La vitesse (m/s)

 La direction de provenance des courants, exprimée en degrés D (°). L'angle est compté positivement, suivant le sens des aiguilles par rapport au nord géographique (convention nautique).

Les caractéristiques de vitesse et de direction des courants (minimum, moyenne et maximum) mesurées durant la campagne de mesures sont synthétisées dans l'Illustration 26.

L'Illustration 30 représente l'évolution de la vitesse des courants enregistrée par les trois appareils, pendant la première partie de la campagne de mesure.



Illustration 30 : Vitesses des courants enregistrées (m/s) par les trois appareils de mesure sur la période du 04/12/2012 au 20/02/2012.

On constate que les courants sont globalement faibles (inférieurs à 0,1 m/s) et n'atteignent que ponctuellement des valeurs supérieures à 0,3 m/s.

L'évolution temporelle de la direction des courants est représentée en Illustration 31 par les mesures de l'ADCP sur la période d'acquisition. On note que la direction des courants est nettement marquée par deux modes. Pendant la période de mesures, les courants sont le plus communément dirigés vers le nord (provenance 180°). On constate cependant un mode secondaire de direction opposée vers le sud (provenance 340°). L'influence respective du vent et des vagues explique la forte variabilité de la direction du courant résultant, à quelques heures d'intervalle.



Illustration 31 : Vitesse et direction de provenance des courants enregistrées par l'ADCP durant la période de mesure.

3.1.3. Mesures de niveau d'eau acquises

Les mesures de niveaux d'eau instantanées sont présentées ici pour les capteurs Aquadopp Nord et Sud (Illustration 32). Ces mesures représentent la variation du niveau de la surface de l'eau par rapport à au niveau d'eau moyen de chaque capteur durant la période d'acquisition. Ces variations de niveaux sont la résultante des effets de la marée, du vent, de la pression atmosphérique et des vagues.



Illustration 32 : Variation des niveaux d'eau instantanés enregistrés par rapport au niveau d'eau moyen de chaque capteur pendant la période d'acquisition

3.2. UN CONTEXTE HYDRODYNAMIQUE SPÉCIFIQUE

Les données de la bouée 97204 à Fort de France (intégrée au réseau Candhis¹ et localisée à l'entrée de la baie de Fort de France, à 7 km au sud du littoral étudié) permettent d'illustrer, dans un premier temps, les caractéristiques fondamentales des vagues rencontrées sur la côte Caraïbe (Illustration 33).

À cet endroit, on observe donc trois régimes aux directions fortement marquées :

- Un régime d'Ouest/Nord-Ouest issu de vagues contournant le Nord de la Martinique par le canal de la Dominique ;
- Un régime de Sud-Ouest issu de vagues contournant l'île par le Sud ;
- Un régime de Nord-Est provoqué par des vents qui circulent au dessus de la Martinique et qu'on appele « mer de vent ».

¹ <u>http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/</u>, © Ministre de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire. CETMEF Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales - DELCE/DHSM/GMD - DRIM/DSTI/GWB)



Illustration 33 : Rose des houles obtenue à partir des données disponibles à la bouée Candhis/CEREMA Fort-de-France (bouée 97204).

Hormis les situations exceptionnelles comme la circulation de cyclone d'Ouest en Est dans la mer des Caraïbes (cyclones Lenny 1999 ou Omar 2008) ou la progression de front froid² en fin de période de carême, les houles dans la baie de Fort de France, atténuées par l'effet de diffraction autour de l'ile, sont de faibles hauteurs (Hs dépassant rarement 0,5 m). De plus, l'exposition particulière de cette côte et l'action des vents locaux ont un effet très important sur l'étalement angulaire de la provenance des vagues (jusqu'à 50° sur les observations de la bouée).

Cependant, les données de la bouée Fort-de France ne sont pas représentatives des conditions hydrodynamique au large de la baie de Schœlcher. En effet, la majorité des vagues observées à cette bouée correspondent à une mer peu formée dite mer du vent, provenant du Nord-Est. Ces vagues résultent de l'action du vent dans la baie de Fort-de France (vent provenant du Nord-Est et traversant la Martinique). Sur le littoral de Schœlcher, cette composante est nettement moins développée voire inexistante, la mer de vent n'ayant pas la possibilité de se

² Système dépressionnaire progressant depuis le centre de l'Amérique du Nord, jusqu'au centre de la mer des Caraïbes

développer. En effet, ce régime peut être observé uniquement s'il existe une zone de fetch³ suffisamment étendue comme c'est le cas en baie de Fort-de-France.

Les données de la bouée Fort-de France n'étant pas suffisamment représentatives, des modèles de vagues ont été utilisés pour reproduire les régimes (ou climat) de vagues caractéristiques des conditions hydrodynamiques au large de la baie de Schœlcher à partir des données de vent régionaux mises à disposition par la communauté scientifique.

3.3. IDENTIFICATION DES CONDITIONS DE HOULES AU LARGE DU SITE D'ÉTUDE

3.3.1. Validation du modèle IOWAGA-CRB

Les conditions d'exposition particulières du littoral étudié introduisent une forte complexité quant à la reproduction des régimes de vagues par les modèles d'états de mer, forcés par des vents.

Le modèle de vague IOWAGA-CRB <u>http://wwz.ifremer.fr/iowaga/</u>, permet de disposer des paramètres de vague pour l'arc antillais à une résolution de 0,05 x 0,05° (\approx 3,7 km x 3,7 km) (*Illustration 34*), à partir de données de vent. Pour le domaine Caraïbe, deux bases de données de vent sont utilisables pour le forçage du modèle de vagues :

- La base de données de vent CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) du NCEP (National Centers for Environmental Prediction) du centre Américain de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) pour la période 1990 à 2012 (cf : http://cfs.ncep.noaa.gov/cfsr/);
- La base de données de vent ERA-40 du centre Européen ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) pour la période 2008-2013 (cf : <u>http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis</u>).

Le modèle IOWAGA-CRB a ainsi été utilisé pour reproduire le climat de vagues au large de la Martinique. La comparaison de ces résultats avec les données de la bouée 42060 localisée au Nord-Ouest de l'arc Antillais donne des résultats corrects (*Illustration 35*). Toutefois ces caractéristiques ne peuvent pas être directement utilisées compte tenu de leur éloignement de la zone d'étude (320 km).

³ Le fetch est la distance en mer ou sur un plan d'eau au-dessus de laquelle souffle un vent donné sans rencontrer d'obstacle depuis l'endroit où il est créé ou depuis une côte s'il vient de la terre.



Illustration 34 : Emprise du modèle IOWAGA-CRB (image Google Earth)



Illustration 35 : Comparaison des hauteurs caractéristiques des vagues Hs, entre observations à la bouée 42060 et données issues du modèle IOWAGA-CRB forcé par les vents CFSR pour l'année 2009.

Les comparaisons à la bouée de Fort-de-France montrent en revanche des différences importantes entre observations et résultats du modèle de vague dues notamment à la résolution du modèle IOWAGA-CRB dont la résolution (maillage de 3,7 km) est insuffisante pour obtenir

des résultats fiables proche de la côte. Or la bouée de Fort-de-France est située à moins de 2 km du littoral sud de la Baie de Fort-de-France. Par ailleurs, ces résultats illustrent également la difficulté que les modèles ont à reproduire les régimes locaux de vagues propres à la façade sous le vent de l'île de la Martinique. Les performances obtenues à partir de la base de données de vent CFSR ou ECMWF sont équivalentes (*Illustration* 36).



Illustration 36 : Comparaison des hauteurs caractéristiques des vagues Hs, entre les observations à la bouée Candhis (Fort de France) et les données issues du modèle IOWAGA-CRB forcé par les vents CFSR (à gauche) ou forcé par les vents ECMWF (à droite) pour l'année 2009.

Cette analyse a montré que les sorties du modèle IOWAGA-CRB étaient fiables au large mais inadaptées à proximité des côtes compte tenu de la résolution du modèle. La classification des régimes de vague a donc été réalisée au large de la zone d'étude (côte Ouest de la Martinique), à partir des 23 ans de données disponibles de la base de données IOWAGA-CRB.

3.3.2. Classification statistique des familles de vagues au large du site d'étude

Principe de la classification statistique

Les données de vagues sont caractérisées par une hauteur significative Hs, une période pic Tp, et une direction pic Dp. Dans la présente étude, les flux de sédiments *longshore* induits par les vagues seront calculés à partir de la formule de Kamphuis (2002). Ainsi, au lieu de classer les triplets habituels (Hs, Tp, Dp), nous avons classé les triplets (Hs².2cos(Dp), Hs².2sin(Dp), Tp^{1.5}), plus représentatifs des flux de sédiment longshore. L'algorithme de classification utilisé est l'algorithme k-means (Le Cozannet et al., 2011).

L'identification du régime de vagues est ensuite basée sur la valeur du barycentre et un critère saisonnier. Cette étape permet de disposer des caractéristiques moyennes des vagues susceptibles d'atteindre le littoral, associées à leur récurrence en pourcentage de la durée de la chronique traitée. Lors de la classification, 12 familles de vagues ont été jugées statistiquement représentatives. Les paramètres obtenus après classification sont exprimés en Hs, Tp, Dp.

Résultats généraux au nord et au sud de la baie

La classification a donc été réalisée à partir de l'analyse de 23 ans de données (1990-2012) issue du modèle de vagues IOWAGA-CRB (CFSR). Comme les vagues affectant la baie sont issues d'influences d'origine Nord et Sud, la classification des données de vagues a été réalisée en deux points au large de la zone d'étude (au Nord et au Sud, entourés en rouge dans l'*Illustration 37*). Cinq autres points ont été étudiés afin d'apprécier la variabilité des conditions de vagues dans ce secteur et ont servi à analyser la concomitance entre les classifications réalisées au Nord et au Sud de la zone d'étude.



Illustration 37 : Localisation des points IOWAGA analysés. Les point retenus pour la classification des types de vagues sont encerclés en rouge (points 65 et 123)

L'Illustration 38 présente les résultats de la classification au nord de la baie (point 123). Les caractéristiques des familles de vagues obtenues au sud de la baie (point 65) sont présentées dans l'Illustration 39. La répartition de ces différentes familles de vagues au cours d'une année pour chacun des points, est représentée en Illustration 40.

Cette analyse confirme deux caractéristiques de l'état de mer dans cette partie de la Martinique.

Il ressort que les caractéristiques des vagues de part et d'autre du site d'étude sont très différentes attestant de la complexité des régimes de vague dans cette zone d'ombre (i.e. côte abritée de l'action directe des vagues du fait de la morphologie de l'île). En effet, les houles observées au point 123 sont essentiellement issues du canal de la Dominique (au Nord de la Martinique) alors que les houles observées au point 65 sont à la fois influencées par le nord et le sud et sont caractéristiques de la façade Caraïbes.

Les vagues sur le site d'étude sont issues de la rencontre de ces régimes opposés et la résultante peut être variable à l'échelle d'une journée, notamment du fait de l'intensification de l'action du vent local (c'est-à-dire les vents qui soufflent sur la Martinique et ses alentours et pas uniquement sur la zone d'étude et qui peuvent avoir un effet non négligeable sur l'état de mer car les houles sont faibles).

Par ailleurs, ces données confirment que les caractéristiques des vagues sont, hors passage de cyclone, très faiblement énergétiques. Les valeurs de Hs sont globalement faibles toute l'année (ne dépassant pas 1 m au niveau des points 65 et 123).

	Classe	Hs (m)	T (s)	D (°)	%
Mer de vent (Est) - hivernage	1	0,44	2,71	76	19,66%
Mer de vent (Est) - hivernage	2	0,46	3,30	144	11,75%
Mer de vent (Est) - hivernage	3	0,63	3,10	101	11,46%
Mer de vent (Est) - hivernage	4	0,76	3,95	142	3,01%
Mer de vent (Est) - carême	5	0,74	3,22	69	5,99%
Houle (Nord) – toute l'année	6	0,39	9,89	0	25,14%
Houle (Nord) – carême et transition	7	0,47	13,22	7	12,52%
Houle (Nord) - carême et transition	8	0,76	12,13	8	5,46%
Houle (Nord-ouest) – carême et transition	9	0,65	11,03	331	4,68%
Mer forte (W) - saison cyclonique	-	3,08	10,50	286	0,02%
Mer forte (W) - saison cyclonique	-	2,06	8,47	294	0,06%
Mer de vent forte (S) - saison cyclonique	-	1,29	5,40	193	0,24%

Illustration 38 : Classification des vagues au nord du site d'étude (pt 123)

Illustration 39 : Classification des vagues au Sud du site d'étude (pt 65)

	Classe	Hs (m)	T (s)	D (°)	%
Mer de vent (Est) – toute l'année	1	0,99	6,40	130	2,15%
Mer de vent (Est) - toute l'année	2	0,64	4,72	135	7,53%
Mer de vent (Est) - carême	3	0,82	3,30	78	7,73%
Mer de vent (Est) - carême	4	0,59	2,92	71	12,85%
Mer en développement (Est) - toute l'année	5	0,76	8,51	122	9,56%
Mer en développement (Est) – toute l'année	6	0,58	8,32	121	20,02%
Mer en développement (Est) - hivernage	7	0,36	8,57	116	22,95%
Mer en développement (Est) - hivernage	8	0,50	10,00	116	10,43%
Houle (Nord-ouest) - carême	9	0,59	11,01	330	6,45%
Mer forte (SE) - saison cyclonique	-	2,11	8,94	133	0,03%
Mer forte (NW) - saison cyclonique	-	2,28	9,27	291	0,07%
Mer de vent forte (S) - saison cyclonique	-	1,26	5,23	201	0,23%

Saisonnalité

On sait que l'année est nettement marquée par deux saisons (la période dit d'hivernage et la période de Carême) séparées par des périodes de transition.

Carême				Trans	sition	Hivernage					Т	ransition
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Nove	mbre	Décembre

L'analyse statistique aux deux points (Illustration 40) fait apparaitre cette saisonnalité. Cette caractéristique apparait plus nettement au point 123 (au nord). On observe ainsi plus régulièrement des houles de Nord en période fin d'hivernage et Carême et plutôt de la mer du vent pendant l'hivernage. Les climats de vagues au point 65 (au sud) sont issus de la rencontre de différents systèmes. Ils sont donc moins clairement identifiables et la saisonnalité y est

moins marquée. Toutefois, on constate que certaines classes (C7 et C8) apparaissent préférentiellement durant la période d'hivernage. À l'inverse les classes C3, C4 et C9 sont plus caractéristiques de la période de Carême.

Nota : cette étude statistique confirme que les passages de cyclones (non traités spécifiquement) représentent une faible occurrence (<1 jours/an).



Illustration 40 : Répartition annuelle des différents types de vagues au point 123 (au nord) et au point 65 (au sud)

3.4. MODÉLISATION DES ÉTATS DE MER À LA CÔTE

3.4.1. Principe

La situation hydrodynamique à la côte a été modélisée à partir des climats de houle au large grâce au code SWAN (Booij *et al.,* 1999). La première étape, présentée au § 3.3, a donc consisté à définir les états de mers au large de Schœlcher. Après avoir validé et calé le modèle avec les données acquises in situ (§ 3.4.2), la reconstitution des états de mer, à la côte (sur le site pilote) a ensuite été obtenue par modélisation (§ 3.5.2).

L'exécution du code SWAN repose sur un emboitement de modèles numériques présentés dans l'Illustration 41. Le Domaine 2 qui s'étend de la Pointe Plate-forme à la Pointe des Nègres a une résolution 50 m. Le Domaine 3, le plus fin, à une résolution de 10 m centré sur le littoral de Schœlcher. Les données bathymétriques sont issues des données HISTOLITT du SHOM et des données LIDAR (produit Litto3D) pour la partie -10 – 0 m (*Illustration* 41).



Illustration 41 : Emboitement de modèles numériques utilisés pour la modélisation SWAN

3.4.2. Validation de la modélisation SWAN grâce aux observations in situ

Le modèle SWAN a été calé à partir des mesures hydrodynamiques acquises dans le cadre de cette étude. L'objectif de cette procédure est d'apprécier la pertinence du modèle à reproduire les conditions de vague sur le littoral de Schœlcher. Les conditions de forçage issues du modèle IOWAGA-CRB sont appliquées au pas de temps de 3 heures aux limites Nord, Ouest et Sud du domaine 1 (localisation des points rouges sur l'Illustration 37).

Les conditions de houles lors des deux dernières semaines de décembre 2012 ont été reproduites par le modèle (données IOWAGA-CRB) et comparées aux mesures de l'ADCP (Illustration 42), dont la fiabilité est estimée meilleure.



Illustration 42 : Comparaison des données mesurées par l'ADCP avec les résultats de la simulation Swan lors des deux dernières semaines de décembre 2012

Concernant **la hauteur significative des vagues** Hs, on constate (Illustration 42) que le modèle reproduit convenablement l'évolution temporelle des conditions de vagues, avec néanmoins une sous-estimation de 10 cm environ par rapport aux conditions réelles. Bien que l'erreur apparaisse importante en relatif vu les faibles hauteurs de vagues sur le site, une différence de 10 cm reste une erreur très faible en absolue. La sous-estimation des simulations s'explique notamment par la non prise en compte des effets du vent local. Un test d'intégration dans la modélisation du vent à la station météo la plus proche (aéroport du Lamentin) a été réalisé sur la situation du 26/12/2012 à 6h.

Ce test a montré qu'il était en partie possible de corriger la sous-estimation observée. Cependant, ces données ne peuvent pas être utilisées à cette échelle car la situation orographique et l'exposition aux vents au Lamentin est trop différente des conditions de Schœlcher.

Les périodes pics des vagues modélisées sont très proches des valeurs mesurées, bien qu'elles soient souvent moyennées par rapport aux valeurs réellement observées. Ceci s'explique par l'instabilité des caractéristiques des vagues au niveau du site d'étude, du fait des influences locales et régionales alternativement de provenance Nord et Sud. Au regard des objectifs de notre étude, à savoir quantifier les transits sédimentaires pour des conditions moyennes représentatives, les valeurs moyennes produites par le modèle sont donc tout à fait suffisantes et pertinentes.

Quant à **la direction des vagues** (Dp), les résultats du modèle sont satisfaisants pour des vagues provenant de l'Ouest (entre 250° et 280°). En revanche, lorsque les vagues proviennent

du Sud-Ouest (entre 220° et 250°) ou du Nord/Nord-Est (300 à 330°), le modèle a tendance à sous-estimer les valeurs. Il indique dans le premier cas des directions de l'ordre de 210°, dans le second des valeurs de 270° à 280°.

3.5. IDENTIFICATION DE SITUATIONS TYPE AU LARGE À PARTIR DE LA CLASSIFICATION DES VAGUES

3.5.1. Situation type de vague au large de la zone d'étude

Afin de pouvoir déterminer la dynamique hydro-sédimentaire et notamment le flux de sédiments *longshore*, un travail de synthèse a été réalisé pour déterminer des situations type de vagues au large de la zone d'étude. En effet, bien que reproduire les caractéristiques des vagues à la côte soit complexe, au large du site d'étude (i.e. aux limites du domaine 1, Illustration 41), les situations sont relativement stéréotypées et peuvent être synthétisées à partir des deux classifications statistiques présentées précédemment (au Nord et au Sud de la baie).

L'observation des données PREVIMER (<u>http://www.previmer.org/</u>) et des tests de sensibilité (modélisation SWAN) mettent en évidence que le littoral de Schœlcher est dominé par l'influence des vagues provenant du Sud-Est (Houles provenant de l'Atlantique et ayant contournées l'île par le canal de Ste Lucie). En effet, dès lors que les vagues qui affectent la limite Sud du domaine 1 sont de provenance Sud-Est, les vagues qui atteindront le site d'études seront de provenance Sud. Les vagues provenant du Nord sur la limite Nord du modèle auront peu (voire pas) d'effets au niveau de la zone d'étude (légère influence sur la hauteur et la direction des vagues). En revanche si les vagues à la frontière Sud sont de provenance Nord/Nord-Ouest, cela signifie que ce sont les vagues provenant de la limite Nord qui dominent l'ensemble du domaine étudié et donc le secteur de Schœlcher.

On retiendra que la classification qui donne le régime dominant sur le secteur de Schœlcher est celle fournie par le point 65 ; ce sont donc les pourcentages associés aux différentes classes de vagues de ce point qui seront utilisés par la suite.

Sur cette base, **cinq situations** « **types** » qui regroupent l'ensemble des classes de vague présentées dans les Illustration 38 et Illustration 39 sont décrites ci-dessous avec leur fréquence. Leur période d'apparition dans l'année est représentée en Illustration 40.

Concernant la saisonnalité, du fait que celle-ci est peu marquée au niveau de la frontière Sud du domaine (point 65, Illustration 40) seules des tendances peuvent être dégagées. Ainsi, les situations S1 et S2 pourront être observées toute l'année mais plus particulièrement lors de la saison cyclonique (ou hivernage)⁴. La situation S3 est quant à elle plus caractéristique de la saison d'hivernage. Enfin les situations S4 et S5 correspondent plus particulièrement à la période de Carême.

Situation S1

Cette situation correspond sur la frontière Nord du domaine d'étude à de la mer de vent générée localement (période des vagues de 3 à 4 secondes) et sur la frontière Sud des houles provenant du canal de Ste Lucie (Hs 0.36 - 0.76 m ; Tp 8.3 - 10.0 s ; Dp ≈120° (conv nautique).

⁴ Les cyclones qui affectent la Martinique sont observés essentiellement durant les mois d'Aout à Octobre (essentiel des cyclones depuis 1950)

Ce régime est le plus fréquent (52,4 % de l'année) sur la côte Ouest de la Martinique au large du littoral de Schœlcher.

Situation S2

Cette situation correspond à des houles sur la frontière Nord provenant du Nord, Hs 0.39 - 0.76 m; Tp 10 -13 s et Dp entre 0 et 8° (contournant l'île par le canal de la Dominique) et des conditions de mer du vent générées localement au Sud (Hs 0.64 - 0.99 m, Tp 5 - 6 s, Dp \approx 130°). Ce régime est observé 9,7 % de l'année.

Situation S3

Cette situation correspond à la rencontre au niveau du secteur d'étude de houles provenant de directions opposées et contournant respectivement l'île par le Nord (canal de la Dominique) avec Hs 0.39 - 0.76 m ; Tp 10 -13 s et Dp entre 0 et 8° et par le Sud (canal de Ste Lucie) avec Hs 0.5 m ; Tp 10.0 s et Dp ≈116°. Ce régime est observé 10,4 % de l'année.

Situation S4

Cette situation est l'opposée de la situation 1. Les vagues provenant du Nord sont des houles ayant contournées l'île par le canal de la Dominique avec Hs 0.39 - 0.76 m ; Tp 10 - 13 s et Dp entre 0 et 8°. Dans le même temps, les vagues provenant du Sud sont très faibles et issues de l'action des vents locaux (mer du vent), avec Hs 0.6 à 0.8 ; Tp \approx 3 s et Dp \approx 74. Ce régime est observé 20,6% du temps.

Situation S5

Dans cette situation, les houles provenant du Nord dominent toute la façade Ouest de la Martinique. Les houles provenant du Nord sont en moyenne de l'ordre de Hs 0.65 m, Tp ~ 11s et Dp \approx 330°. Au sud de la zone d'étude, les caractéristiques des vagues sont très proches des conditions au Nord (Hs 0.59 m ; Tp 11s ; Dp entre 330 et 0°). Ce régime est observé 6,5 % du temps.

	2,2%	1							62		
	7,5%	2							52		
	7,7%	3							сл		
65	12,9%	4							54		
i	9,6%	5									
Å	20,0%	6			S1						
	23,0%	7									
	10,4%	8							S 3		
	6,5%	9									S5
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			Point 123								

Illustration 43 : Définition des 5 situations types en correspondance avec les 9 classes déterminées au point 65 et point 123.



Illustration 44 : Croquis schématique des 5 situations types de vagues aux frontières du domaine d'étude.

3.5.2. Modélisation des états de mer à la côte, à partir des 5 situations identifiées au large du secteur d'étude

Les situations au large identifiées dans le paragraphe précedent résultent de l'association de classes issues de la classification statistique (Illustration 38 et Illustration 39). Pour chaque situation, les conditions de forçage appliquées aux limites du domaine 1 (limites Nord, Ouest,

Sud) sont pour les parametres (Hs, Tp, Dp), les moyennes pondérées par le pourcentage d'occurrence de la classe au cours de l'année. Ces paramètres de forçage sont presentées dans le Illustration 45.

	Limit	es Nord et C	uest	limite Sud				
	Hs (m)	Tp (s)	Dp (°N)	Hs (m)	Tp (s)	Dp (°N)		
Situation 1	0,54	3,1	100	0,52	8,5	119		
Situation 2	0,46	11,1	3	0,72	5,1	134		
Situation 3	0,46	11,1	3	0,50	10,0	116		
Situation 4	0,46	11,1	3	0,68	3,1	74		
Situation 5	0,65	11,0	331	0,59	11,0	330		

Illustration	15 .	Daramàtraa	do fe		onnligu	160.01.04	limitaa	4	domaina 1	nour	ahaa		ituation
แนรแลแบบ	40.	raiamettes	uen	лçaye	appiiqu	ies aux	mmes	uu	uomaine i	ρουι	cnay	ue si	lualion

Pour chaque situation type identifiée au large, les résultats de la modélisation SWAN sont présentés ci-après (Illustration 46 à Illustration 50). Pour chaque classe de vague, l'Illustration 52 indique la valeur obtenue par le modèle au niveau du capteur ADCP.

Les résultats montrent selon les situations type, des situations contrastées de vague au niveau du littoral de Schœlcher, notamment en termes de hauteurs significatives (échelle de couleur) et de directions (flèches).



Illustration 46 : Hauteurs et directions des vagues pour la situation type S1



Illustration 47 : Hauteurs et directions des vagues pour la situation type S2



Illustration 48 : Hauteurs et directions des vagues pour la situation type S3



Illustration 49 : Hauteurs et directions des vagues pour la situation type S4



Illustration 50 : Hauteurs et directions des vagues pour la situation type S5

L'Illustration 51 montre qu'au niveau du littoral de Schœlcher la provenance des vagues est Sud-Ouest pour les situations S1, S2 et S3 et Ouest pour les situations S4 et S5. Les résultats indiquent également que les angles d'incidence de la houle à la côte sont proches de la normale du fait de réfraction des vagues dans les derniers cent mètres avant le rivage. Ainsi, quelle que soit la situation de houles au large (hors situation de cyclone), l'angle d'incidence des vagues à la côte est relativement réduit, au maximum de +/-20°.



Illustration 51 : Comparaison des caractéristiques des vagues obtenues par le modèle à l'endroit du capteur ADCP (Illustration 46 à Illustration 50) avec les mesures réelles de l'ADCP. Les losanges verts indiquent des situations s'étant produites lors de la période de mesure (Décembre et janvier). À l'inverse, les losanges oranges indiquent des situations ne s'étant pas produites lors de la période de mesure.

	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)
S1-ADCP (point vert)	0,15	9,2	211
S2-ADCP (point orange)	0,25	5.7	211
S3-ADCP (point vert)	0,18	9.2	228
S4-ADCP (point vert)	0,12	11.2	251
S5-ADCP (point orange)	0,28	11.2	262

Illustration 52 : Caractéristiques des vagues obtenues par le modèle à l'endroit de l'ADCP pour les 5 situations types

4. Quantification de la dynamique hydro-sédimentaire sur le site pilote

Le chapitre 4 vise à caractériser la dynamique hydro-sédimentaire sur le site pilote, sur la base d'une approche mixte, alliant mesures in-situ hydro-sédimentaires et calcul de transports sédimentaires.

4.1. DYNAMIQUE HYDRO-SÉDIMENTAIRE AUX CAPTEURS

Cette partie vise à apprécier, à partir des données mesurées par les capteurs pendant la campagne de mesure, les caractéristiques de la mobilité sédimentaire à cet endroit, sous l'action des courants et des vagues. L'Illustration 24 rappelle la position des 3 capteurs.

4.1.1. Méthode

Afin de caractériser la mobilité sédimentaire au niveau des trois capteurs mouillés entre décembre 2012 et mai 2013, trois paramètres ont été calculés :

- les tailles de grain maximales potentiellement mises en mouvement à chaque instant ;
- le temps de mise en mouvement potentielle des sédiments ;
- les flux de sédiments charriés (capacité de transport).

Ces calculs sont détaillés en Annexe 2.

Les données hydrodynamiques exploitables pour ces calculs de mobilités sédimentaires, couvrent des durées allant de 4 jours (ADCP) à 138 jours (Aquadopp Nord). La faible durée des données exploitables pour l'ADCP s'explique par un dysfonctionnement au niveau de la mesure de courant (les vagues ont bien été mesurées correctement sur une durée de 29 jours (Illustration 26). Dans l'analyse de la mobilité sédimentaire, les données de vagues et de courants sont interpolées temporellement à une résolution de 15 min, permettant de décrire l'évolution temporelle des courants et des vagues et de calculer la contrainte au fond due à l'action conjointe des courants et des vagues.

Les sédiments aux niveaux des capteurs sont caractérisés par une granulométrie majoritairement comprise entre 0,063 et 2 mm, avec une taille de grain médiane d50 \sim 0,25 mm, ce qui rentre dans la gamme d'applicabilité des calculs.

4.1.2. Résultats

Pour chaque capteur, les données hydrodynamiques d'entrée ainsi que les résultats en termes de mobilité sédimentaire (taille de grain mobilisable, temps de mobilité et flux de sédiments charriés) sont fournis dans l'Annexe 2. Ici, seuls les résultats principaux sont évoqués. L'Illustration 53 récapitule les résultats obtenus.

L'absence de mobilité observée à l'ADCP s'explique seulement par la très courte durée des mesures exploitables (4 jours), durée pendant laquelle rien n'est mis en mouvement sur les autres capteurs.

En termes de tailles de grains mobilisables potentiellement mis en mouvement, l'Illustration 54 montre les résultats, pour chaque capteur hydrodynamique, au cours du temps. On constate, une mobilité potentielle (mais faible) des sédiments au niveau des 2 Aquadopps. Pour ces 2 capteurs, les résultats montrent que les sédiments sont principalement mis en mouvement par les courants. L'action conjointe des vagues engendre des tailles de grains mobilisables supérieures, mais les vagues seules ne permettent pas de mettre en mouvement des sédiments, dans la gamme étudiée (i.e. de taille supérieure à 0,063 mm).

	Aquadopp Nord	Aquadopp Sud	ADCP
Temps de mobilité* (Dg=0.25 mm)	0,04%	0,1%	0%
Taille de grain maximale mise en mouvement	0,84 mm	0,38 mm	-
Taille de grain moyenne mise en mouvement	0,16 mm	0,11 mm	-
Flux de sédiment max (Dg=0.25 mm) <i>[kg/m/h]</i>	10.24	0.24	-
Flux de sédiment moyen (Dg=0.25 mm) sur la période [<i>kg/m/h</i>]	0.0015	0.00009	-

Illustration 53 : Tailles de grain obtenues pour chaque capteur hydrodynamique. *Temps de mobilité : rapport entre durée de mise en mouvement et durée de la mesure hydrodynamique valide. Dg : diamètre des grains)

L'analyse du temps relatif de mobilité (i.e. le ratio entre durée de mobilité et durée de données hydrodynamiques valides) pour des tailles de grain de 0,25 mm (d50 aux capteurs) montre que, globalement, les sédiments présents au niveau des capteurs sont très peu mobiles (temps de mobilité relative $\leq 0,1$ %, Illustration 53). En termes de flux de sédiments charriés, les résultats indiquent qu'ils atteindraient une valeur maximale de l'ordre de 10 kg/m/h, tandis qu'en moyenne, sur la durée de la campagne de mesure, ils sont inférieurs à 0,0015 kg/m/h.



Illustration 54 : Taille de grain maximale potentiellement mise en mouvement sous l'action des courants et vagues (D50CH), des vagues seules (D50H) et des courants seuls (D50C) : (a) Aquadopp Nord, (b) Aquadopp Sud

4.1.3. Conclusion

En résumé, au large de Schœlcher, par 10-14 m de fond, sur la période de mesures (décembre 2012 à mai 2013), la dynamique sédimentaire est très faible : les conditions hydrodynamiques (principalement les courants) sont trop faibles et permettent de mettre en mouvement les sédiments que de manière ponctuelle (dans le temps). La taille de grain maximale potentiellement mise en mouvement est ici de 0,84 mm, ce qui correspond à un sable grossier. Lors d'épisodes cycloniques d'ouest par exemple, la dynamique sédimentaire serait bien sûr différente (avec une plus forte capacité de mise en mouvement des sédiments).

Cela signifie que les sédiments déposés à plus de 10 m de profondeur (par une crue ou un cyclone) n'auront pas la possibilité de revenir vers la côte avec ce type de conditions. Pour ces mêmes conditions hydro-dynamiques, la mise en mouvement des sédiments est possible plus proche de la côte.

4.2. DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE HYDRO-SÉDIMENTAIRE À LA CÔTE

La mobilité sédimentaire à la côte est contrôlée par des dynamiques à la fois cross shore (perpendiculaire à la côte) et long shore (parallèle à la côte).

Si l'état actuel des connaissances scientifiques permet d'estimer de manière raisonnable le transport long shore (présenté dans le § 4.2.1), à l'inverse, l'estimation empirique du transport cross shore relève encore du domaine de la recherche. Pour disposer néanmoins d'une appréciation de cette composante, des mesures ponctuelles, décrites dans le § 4.2.2, ont été conduites.

4.2.1. Estimation quantitative des flux longshore et de leur variabilité sur le site pilote

D'après les modélisations précédentes, les vagues arrivent à la côte avec un angle d'incidence d'environ +/-20° (par rapport à la normale), ce qui va générer un transport parallèle à la côte.

À partir de formules empiriques établies dans la littérature, le transport long shore peut être estimé pour chacun des 5 états de mer identifiés dans le chapitre précédent (Illustration 46Illustration 46 à Illustration 50) puis pondérés par la fréquence respective de ces états de mer, de manière à obtenir une estimation du transport long shore moyen annuel résiduel à la côte. Cette évaluation nécessite de connaitre la granulométrie des sédiments, le profil de plage et les conditions de houle.

Méthode et formules utilisées pour quantifier le flux longshore

L'étude consiste à calculer les volumes de sables susceptibles d'être transportés au cours d'une année. Pour ce faire, la méthode utilisée consiste à calculer les volumes de sables déplacés à partir de l'expression empirique de Kamphuis (2002).

$Q_{lst,m=2,27H_{sb}^2T_p^{1,5}m_b^{0,75}D_{50}^{-0,25}sin^{0,6}(2\theta_b)}$

Où $Q_{ist,m}$ est la masse de sédiments transportés sous l'eau par unité de temps (kg/s), Hsb la hauteur significative des vagues au déferlement, Tp la période pic (s), mb la pente de la plage entre la ligne de déferlement et le rivage, et D50 la taille du grain médian (m), Van Rijn (2000). Les flux calculés sont ensuite convertis en m³/h et rapportés en m³/an.

Cette formule a été élaborée à la suite de travaux du même auteur, Kamphuis *et al.*, (1986), Kamphuis (1991) en laboratoire et à partir de mesures de terrain. Parmi les nombreuses formules existantes, l'expression de Kamphuis présente l'avantage de moins surestimer les valeurs de transport pour de faibles énergies de vagues par rapport à la formule du CERC par exemple (Bayram *et al.*, 2007). Elle permet également d'intégrer des forçages variés et de tenir compte de la granulométrie.

Le flux longshore a donc été estimé en 11 endroits (P1 à P11 sur l'Illustration 55), à partir de plusieurs types de données (*Illustration 55*) :

- les cinq états de mer caractéristiques du site, identifiés dans le chapitre précédent (Illustration 46 à Illustration 50) (§ 3.5.2) ;
- le profil de la plage estimé à partir des profils topo-bathymétriques des données Litto3D de l'IGN (Annexe 1). La pente de la plage a été évaluée entre 2 m de profondeur et le rivage car le déferlement possible des vagues ne s'étend ici que sur une zone très limitée ;

- 1617600 1617400 1617200 1617000 Aqua Nord 1616800-1616600-1616400- Points d'étude Profils 1616200 Echantillons granulotmétriques 0 Mesures Hydrodynamiques 1616000 ÎN 1615800 703000 703200 703400 703600 703800 704000 704200 704400 704600 704800 705000
- la granulométrie donnée par le diamètre médian D50 du point le plus proche de la campagne de prélèvements décrite au § 2.1.4.

Illustration 55 : Localisation des différents éléments servant au calcul des flux sédimentaires longshore

Résultats

La direction de la dérive littorale et le volume de sable transportés (m³/an/m) ont d'abord été estimés pour chaque état de mer établi précédemment, S1 à S5 (colonnes de gauche des Illustration 56 et Illustration 57).

En tenant compte de l'occurrence des différentes situations au cours d'une année, les colonnes de droite donnent pour chacun des sites, la direction de la dérive littorale résiduelle (vers le nord ou vers le sud) et le volume transporté résiduel.

						% de ten	nps par an
	S1	S2	S 3	S4	S5	Nord	Sud
Profil 1	N	N	N	S	S	73	27
Profil 2	Ν	N	N	S	S	73	27
Profil 3	Ν	N	N	S	S	73	27
Profil 4	S	S	S	S	S	-	100
Profil 5	Ν	N	N	N	N	100	-
Profil 6	S	S	S	S	S	-	100
Profil 7	Ν	N	N	S	S	73	27
Profil 8	N	N	N	S	S	73	27
Profil 9	N	N	N	S	S	73	27
Profil 10	S	N	S	S	S	10	90
Profil 11	S	N	S	S	S	10	90

Illustration 56 : Direction de la dérive littorale pour chaque situation de vagues (à gauche) et pour l'ensemble de l'année (à droite), tenant compte de l'occurrence moyenne de chaque au cours de l'année En bleu, dérive dominante vers le nord. En rouge, dérive dominante vers le sud

						Total a	annuel
	S1	S2	S 3	S4	S5	Dir Nord	Dir Sud
Profil 1	1463	425	457	315	711	2345	1026
Profil 2	921	238	251	330	370	1409	700
Profil 3	471	302	294	148	386	1067	535
Profil 4	997	303	311	585	1525	-	3720
Profil 5	5324	1201	1486	976	2082	11070	-
Profil 6	1360	303	358	611	2027	-	4660
Profil 7	2134	482	551	1072	2089	3167	3162
Profil 8	1232	332	341	166	467	1905	632
Profil 9	1434	536	565	226	643	2535	869
Profil 10	766	265	364	828	1487	265	3446
Profil 11	580	165	201	651	1292	165	2723

Illustration 57 : Volumes de sable en m³/an/m transporté par chaque situation de vagues. Les deux dernières colonnes indiquent le bilan annuel résiduel. En bleu, dérive dominante vers le nord. En rouge, dérive dominante vers le sud

L'Illustration 58 synthétise les résultats sur le site pilote et met en évidence la variabilité des directions de la dérive littorale et des quantités de sédiments transportés.



Illustration 58 : Bilan des flux et orientation des dérives dominantes et secondaires sur le littoral de Schœlcher au cours d'une année. (Flux total = flux annuel par direction)
Interprétation

Ces résultats montrent que globalement, la dynamique sédimentaire sur le site d'étude, est relativement peu prononcée et les volumes de sables transportés durant l'année relativement faibles.

D'après le bilan des flux observables au long de l'année, la direction de la dérive dominante (direction dans laquelle les flux cumulés sont les plus importants) est contrastée, c'est-à-dire qu'on observe un basculement de la direction dominante au cours de l'année. Seuls les secteurs autour de l'embouchure (Profil P5 à P7) ont la particularité de présenter une direction constante.

Rappelons que les situations S1 et S2 pourront être observées toute l'année mais plus particulièrement lors de la saison cyclonique (ou hivernage). La situation S3 est quant à elle plus caractéristique de l'Hivernage. Enfin les situations S4 et S5 correspondent plus particulièrement à la période au Carême. Ainsi, en tenant compte de cette saisonnalité, on peut donc constater que lors de la saison d'hivernage, la dérive littorale aura majoritairement tendance à être orientée vers le nord. En Carême, elle pourra s'inverser entrainant un transit plus prononcé vers le sud. Ces constats globaux doivent être nuancés pour les secteurs particuliers de la plage de Madiana (profil 10 et P11) et de l'embouchure de la rivière Case-Navire (Profil P4 et P6).

Au nord de la plage d'Anse Madame, aux points P1, P2 et P3, la dérive dominante est en direction du nord et les flux sont relativement modérés.

En revanche, la plage de l'Anse Madame, immédiatement derrière l'aménagement est un secteur où les vagues sont réfractées, tournent autour de l'ouvrage pour arriver à la côte avec une incidence vers le sud, quel que soit l'orientation des houles au large. Cette configuration a pour conséquence l'inversion de la dérive littorale naturelle vers le sud au point P4.

L'embouchure est le secteur où les transits quantifiés sont les plus importants. Par ailleurs, la direction de la dérive y reste constante toute l'année. Ainsi, pour le point P5 la dérive dominante est orientée vers le nord et vers le sud au point P6.

Au sud de l'embouchure, les plages du Bourg et de Madiana, sont influencées par des dérives dominantes de sens inverse. Les volumes de sable transportés pour ces petites plages sont relativement importants par rapport aux autres secteurs étudiés. Le sens de la dérive dominante (vers le sud) sur la plage de Madiana, peut s'expliquer par des particularités de l'exposition de chaque tronçon de plage.

Si les évaluations quantitatives des flux long-shore doivent être prises comme un ordre de grandeur en raison des limites des modélisations, l'orientation des flux est toutefois validée par les observations de terrain et l'analyse des photographies aériennes (identification des zones de départ, de transit et de dépôt).

4.2.2. Quantification ponctuelle des flux sédimentaires cross-shore et longshore

Dans le cadre de cette étude, l'UAG a été chargé de mettre en place d'un piège à sédiment afin de comparer l'importance du flux longshore par rapport au flux cross-shore. La méthode mise en œuvre et les résultats sont présentés dans le rapport de l'UAG en Annexe 7 (Dolique et Charpentier, 2014b).

Méthodologie

La méthode employée (méthode Kraus) quantifie le transport sédimentaire en suspension, saltation et reptation à l'aide d'un piège à sédiments (Illustration 59). Ce piège est composé de quatre « chaussettes » d'une maille de 63 µm disposées en croix. Deux des chaussettes sont orientées perpendiculairement à la plage, chacune dans un sens opposé, pour quantifier le transport cross-shore dans les deux directions (vers la plage et vers le large). Deux autres sont orientées parallèlement à la plage, pour quantifier le transport long-shore dans les deux directions.



Illustration 59 : Piège à sédiment avant montage (à gauche) et installé sous 1 mètre d'eau (à droite) -Source : UAG

Les acquisitions ont été réalisées sur une durée de 24h pour chaque mesure : la première le 13 juin 2013, en fin de saison sèche (période de transition entre carême et hivernage) et la seconde, le 13 décembre 2013, en fin de saison d'hivernage (période de transition entre hivernage et carême). Les pièges à sédiments ont été placés au droit des plages de Madiana (au point P10/P11) et de l'Anse Colas (au point P2), considérées comme représentatives des caractéristiques de transport longitudinal et transversal de la zone d'étude. Chaque piège a été placé sur l'avant côte immédiate, à proximité de la zone de déferlement.

De manière à pouvoir interpréter ces mesures, les conditions de vague lors des deux levés ont été reproduites à l'aide des données Previmer (cf Illustration 60 et Illustration 61). Malgré la faible résolution de ce modèle (\approx 3,7 x 3,7 km) et la non prise en compte des effets des vents locaux, les résultats donnent une idée correcte des conditions hydrodynamiques lors des mesures.



Simulations issues de PREVIMER (modèle WaveWatch III(R) Globmulti (références en heure légale)

Illustration 60 : Conditions de vagues le 13 juin 2013 (Hs et direction), source : <u>http://www.previmer.org</u>



Illustration 61 : Conditions de vagues le 13 décembre 2013 (Hs et direction), source : <u>http://www.previmer.org</u>

Globalement, on observe que les vagues atteignant le site d'étude sont du même ordre de grandeur dans les deux situations et restent limitées : de l'ordre de 2,5 à 2,75 m au large de la côte atlantique de la Martinique, elles sont de l'ordre de 0,25 à 0,50 m au large du site d'étude.

En revanche, les directions des vagues sont sensiblement différentes dans les deux situations. Le 13 Juin 2013 (fin de saison sèche), les vagues au large du secteur d'étude sont toujours nettement orientées vers le nord-ouest. Cette situation se renforce même en fin d'après-midi. Cette situation correspond globalement à la situation S1 définie précédemment. Pour la mesure du 13 décembre, la situation est plus contrastée. Les vagues au large de la zone d'étude sont plus orientées vers l'ouest (probablement du fait de vents locaux plus intenses). Cette situation se rapproche de la situation S3.

D'après les Illustration 56 et Illustration 57, l'orientation de la dérive littorale à la côte serait attendue préférentiellement vers le nord pour l'Anse Colas (P2) et vers le sud sur la plage de Madiana (P10/P11).

Résultats

Ces résultats confirment la prédominance du transport cross-shore (perpendiculaire au trait de côte) au détriment des flux longshore (parallèle au trait de côte) : la quantité de sédiment transportée cross-shore est dix fois plus importante que celle transportée longshore.

Par ailleurs, le transport cross-shore présente une alternance saisonnière marquée, systématiquement dirigé vers la plage en juin et vers le large en décembre.

Ces résultats confirment ainsi l'importance des échanges cross-shore saisonniers dans le fonctionnement de ces plages, où, à l'échelle d'une année, des phases de démaigrissement alternent avec des phases de ré-engraissement (Dolique et Charpentier, 2014b). La similarité du comportement sédimentaire de ces deux plages permet de supposer que la majorité des plages de la baie fonctionnent sur le même principe.

Pour les deux campagnes de mesures, le transport longitudinal est systématiquement orienté vers le nord, ce qui est en accord avec les résultats du modèle pour Anse Colas pour des situations S1 et S3 mais pas pour Madiana.

Ces mesures par pièges à sédiment restent ponctuelles et localisées. Le modèle vise à apprécier la dérive littorale de façon intégratrice, spatialement et temporellement.

4.3. DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE HYDRO-SÉDIMENTAIRE DE LA PARTIE SÉDIMENTAIRE ÉMERGÉE

4.3.1. Suivi photographique de la plage de l'Anse Madame

Afin de suivre l'évolution conjointe de la plage de l'Anse Madame et de l'embouchure, une campagne photographique a été réalisée du 20 mars au 30 mai 2012. Grâce à la superposition des clichés photographiques comparables, on observe la forte variabilité du stock sédimentaire.

L'évolution a été quantifiée en comparant visuellement, le run-up (altitude maximale atteinte par le jet-de-rive) de chaque photo. Quatre phases ont été identifiées à partir des 6 prises de vue.

- Du 23 mars et le 05 avril : légère accrétion est constatée
- Du 05 avril au 11 avril : retour à l'état initial du 23 mars suite à une phase érosive de la zone
- Du 11 avril au 23 avril : nouvelle accrétion plus marquée
- Du 23 avril au 30 mai : phase érosive importante mais sur une période plus longue. Il y a pu avoir en effet pendant cette période plusieurs phases. C'est pendant cette période que le bouchon sableux a été chassé, ce qui pourrait attester qu'il n'y a pas de corrélation évidente entre la progradation du bouchon sableux (Illustration 22) et l'accrétion de la plage de l'anse Madame.



Illustration 62 : Comparaison de l'évolution du stock sédimentaire sur l'extrémité sud de la plage de l'anse Madame, pour des conditions de niveau d'eau comparable, par superposition des clichés photographiques

4.3.2. Suivi topographique de l'évolution des plages de Madiana, Anse Madame et Anse Colas (dite plage du Lido)

Dans le cadre de cette étude, l'UAG a été chargé de l'acquisition de données topographiques, afin d'évaluer l'évolution des profils des plages du site pilote sur un cycle annuel. Les résultats sont restitués La méthode mise en œuvre et les résultats sont présentés dans le rapport de l'UAG en en Annexe 6 (Dolique et Charpentier, 2014a).

Méthodologie

Cette acquisition mensuelle a été réalisée par théodolite laser. Le principe est de réitérer ces mesures sur des profils transversaux à la plage, sur un pas de temps régulier.

En tout, 8 profils ont été répartis sur les plages de Madiana, de l'Anse Madame et de l'Anse Colas (*Illustration 63*). Les profils ont été positionnés aux extrémités et au centre de la plage, de manière à capter les transferts longitudinaux, sauf pour Madiana où les profils ont été positionnés aux deux extrémités.

Les mesures se sont effectuées mensuellement de fin mars 2013 à début janvier 2014.



Illustration 63 : Localisation des profils pour le suivi topographique (Source : Rapport UAG en Annexe 6)

Résultats et conclusion de la campagne de suivi topographique

Les évolutions successives des profils de plage sur l'année 2013 obtenu par l'UAG sont présentées dans l'Illustration 64. Les couleurs permettent de mieux appréhender l'évolution du stock sableux.

Les figurés correspondent à :

- X : mesures réalisées
- O: absences de mesure

• ! : Mesures réalisées mais avec un intervalle supérieur ou inférieur au délai mensuel (de 15 jours à 1,5 mois).

Les profils sont rangés du nord vers le sud.

Plages/Mois	Profils	Janvier	E de la compañía de l La compañía de la comp	Levilei	Mars	C 10141	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Dácomhua	necempre	Janvier	/	1	Nord
	P100	0	•	o	×	ć	×	!	×	Х	×	×	×	×	(0	1			
Plage du Lido	P200	0	•	o	×	ć	×	!	×	х	×	×	×	×	(0	1			
	P300	0	•	o	×	<i>.</i>	×	!	×	×	×	×		×	(0	1			
A mark b fa dama	P200	0	(o	×	<	×	!	×	×	×	×	×	×	(0	1			
Anse Madame	P100	0	•	o	×	<i>.</i>	×	!	×	×	×	×	×	×	(0	1			
	P300	×	•	o	×	<	×	!	×	×	×	×	0	×	(0	1			Sud
Madiana	P200	×		o	×	<i>.</i>	×	!	×	×	×	×	0	×	(0	!			
	P100	×	•	0	×	{	×	!	×	×	×	×	×	×	(0	!			

Accrétion supérieure à 1m

Evolution entre -1 et 1 m

Erosion supérieure à 1m

Illustration 64 : Evolutions successives des profils de plage mesurés par l'UAG de janvier 2013 à javier 2014

Interprétation

Les levés réalisés par l'UAG mettent en évidence une variabilité possible importante des stocks sédimentaires des plages, à l'échelle d'une année (recul de l'ordre de 15 m sur la plage de l'Anse Colas). Plus précisément, la morphologie des plages présente des variations saisonnières régulières pour le transit longitudinal mais plus irrégulières pour le transit transversal (Dolique et Charpentier, 2014a). Les variations transversales de profils seraient liées à des phases d'agitation paroxysmique (Dolique et Charpentier, 2014a).

En effet, sur la plage de l'Anse Colas et de Madiana, un transit longitudinal apparaitrait du sud vers le nord (cf. Illustration 64). La première période, de mars à juillet, est caractérisée par une tendance à l'engraissement au nord et au recul au sud. Lors de la période suivante, de septembre à janvier, le phénomène semble s'inverser.

La plage d'Anse Madame présente un comportement légèrement différent. De mars à juillet, la plage, démaigrit tandis que sur la seconde période, elle présente une légère accrétion.

5. Caractérisation des cellules sédimentaires sur la baie de Schœlcher

Le présent chapitre consiste à décrire de manière naturaliste la dynamique sédimentaire par cellules sédimentaires, à partir de l'ensemble des données acquises (terrain, analyse granulométrique..) et des constats historiques.

L'analyse de la dynamique sédimentaire au sein de la baie de Schœlcher nécessite une analyse par cellules sédimentaires, c'est-à-dire par systèmes sédimentaires autonomes.

5.1. CONSTATS HISTORIQUES SUR LA DYNAMIQUE DU LITTORAL

5.1.1. Évolution multi-décennale et décennale du trait de côte

Principe méthodologique

À la demande de la DEAL et dans le cadre de ses actions de Service public, le BRGM a étudié l'évolution du trait de côte le long du littoral martiniquais, entre 1951 et 2010. Les constats sont publiés dans les deux rapports BRGM suivants : Lemoigne et al. (2013) et Nachbaur et al. (2014).

Basée sur une analyse diachronique des photographies aériennes de 1951, 2004 et 2010, ces deux études ont permis de mettre en avant les tendances d'évolution de la position du trait de côte martiniquais à deux échelles de temps : à la fois multi-décennale (1951-2010) et décennale (2004-2010).

Géomorphologie	Type de côte	Critères de définition du trait de côte						
Côtes	Côtes rocheuses peu escarpées et/ou à blocs métriques	Limite de la zone de swash ou si celle-ci n'est pas visible, limite eau/roche						
rocheuses	Côtes à falaises escarpées (pente > 45°)	Pied de falaise						
	Plages sableuses	Limite de végétation						
	Cordons de galets et/ou blocs décimétriques	Haut de cordon de galets ou limite de végétation						
Côtes meubles	Côte peu escarpée végétalisée (substratum supposé meuble ou altéré) et remblais	Limite de végétation ou pied de versant						
	Mangroves	Front de végétation (palétuvier)						
	Ouvrages portuaires	Limite côté mer des aménagements						
Côtes artificialisées	Ouvrages de défense contre la mer (enrochements, murs anti-houles,)	Enrochements (limite d'humectation des ouvrages) et murs (limite côté mer du mur)						
	Aménagements urbains	Contours extérieurs des aménagements « côté mer »						

Illustration 65 : Critères géomorphologiques pour la définition du trait de côte (Source : Rapport BRGM/RP-61686-FR, Lemoigne et al., 2013)

La définition du trait de côte retenue dans ces études se base sur des critères géomorphologiques spécifiques, présentés ci-dessous (Illustration 65). Les typologies côtières et les définitions de trait de côte associées sont conformes aux exigences de la DCE (volet hydro-morpho-sédimentaire). Concernant les plages, il convient de noter que la définition

retenue pour le trait de côte, si elle constitue un bon indicateur de l'érosion à long-terme, ne tient pas compte de l'évolution de la plage à plus court terme. Ainsi, on peut avoir un rétrécissement ou élargissement de la plage, sans que cela n'influe sur la position du trait de côte.

Constats généraux sur la baie de Schœlcher

L'Illustration 66 présente les constats sur la baie de Schœlcher entre 1951 et 2010. Aucun recul supérieur à 15 m n'a pu être mis en évidence sur cette période, sachant que la résolution du protocole ne permet pas de mettre en évidence des reculs inférieurs à 15 m.

À l'inverse, de nombreuses avancées du trait de côte (supérieures à 15 m) ont été repérées (en vert sur la carte en Illustration 66), essentiellement liées à des aménagements.

Les Illustration 67 et Illustration 68 synthétisent les constats sur la baie de Schœlcher aux deux échelles de temps. À court terme (entre 2004 et 2010), certaines portions du littoral présentent une évolution non négligeable, sachant que la résolution du protocole permet de mettre en évidence des reculs (ou des avancées) dès qu'ils sont supérieurs à 5 m.



Illustration 66 : Mobilité du trait de côte à long terme, sur la baie de Schœlcher (Source : Rapport BRGM/RP-61686-FR, Lemoigne et al., 2013)



Illustration 67 : Mobilité du trait de côte à long terme (1951-2010) et à court terme (2004-2010), sur la partie nord de la zone d'étude (Source modifiée : Rapport BRGM/RP-63238-FR, Nachbaur et al., 2014)



Illustration 68 : Mobilité du trait de côte à long terme (1951-2010) et à court terme (2004-2010), sur la partie sud de la zone d'étude (Source modifiée : apport BRGM/RP-63238-FR, Nachbaur et al., 2014)

5.1.2. Constat historique sur les plages sableuses

La majorité des plages de la baie de Schœlcher apparaissent donc en équilibre sur le long terme (entre 1951 et 2010), sauf la plage de Madiana et le sud de la plage d'Anse Madame qui présentent une avancée. L'avancée constatée sur la plage de la pointe des Nègres est liée à un mauvais contraste colorimétrique de la photo aérienne de 1951.

À l'inverse, certaines portions de plages présentent un recul entre 2004 et 2010. Il s'agit du secteur sud de Fond Lahaye (recul de 7 m environ de la plage), de l'extrémité est de Fond Bellemare et de la partie nord de la plage d'Anse Madame.

Plages du Nord au Sud	1951-2010	2004-2010	
Fond Bourlet			
Fond Bellemare	Secteur ouest	extrémité est	
Fond Bernier			
Fond Lahaye		secteur sud	
Anse Colas (Lido)			
Anco Madamo	autoána itá aud	nord	
Anse Madame	extremite sud	partie centrale	
Plage du Bourg de Schælcher			
Madiana	totalité		
Anse Gouraud			
Plage de la Pointe des Nègres		totalité	
Légende évolution des plages	Avancée	Équilibre	

L'Illustration 69 ci-dessous résume ces constats.

Illustration 69 : Constat sur la mobilité du trait de côte des plages du secteur d'étude

Des témoignages relatent par ailleurs une érosion de la plage entre l'Anse Colas et l'Anse Madame : il était en effet possible de rejoindre les deux plages à pied par une petite bande de sable.

5.2. IDENTIFICATION DU FONCTIONNEMENT SÉDIMENTAIRE AU SEIN DE LA BAIE DE SCHŒLCHER

5.2.1. Rappel de la définition d'une cellule sédimentaire

Une cellule sédimentaire est une portion de côte qui constitue un système fermé à l'intérieur de laquelle les circulations sédimentaires sont indépendantes des portions voisines. Ses limites latérales peuvent être d'origine naturelle (embouchures, pointements rocheux) ou anthropiques (ports, épis...).

5.2.2. La baie de Schœlcher : un ensemble de petites cellules sédimentaires indépendantes

Le littoral de la baie de Schœlcher est constitué de petites anses sableuses séparées par des côtes rocheuses ou par des ouvrages. En fonction de la géométrie de ces caps, et selon leur extension vers le large, ceux-ci peuvent constituer des zones d'interruption de transfert sédimentaire et donc des limites de cellules.

L'Illustration 70 présente les cellules sédimentaires identifiées sur la baie de Schœlcher ainsi que la direction dominante de la dérive littorale, déterminée à dire d'expert.

Ainsi, la plupart des plages de la baie de Schœlcher sont indépendantes les unes des autres. Elles sont situées le plus souvent au débouché d'embouchure qui vient perturber le transit sableux et séparer la baie en deux plages relativement indépendantes bien que situées dans la même cellule sédimentaire originelle.

Le secteur allant d'Anse Colas à la plage du bourg de Schœlcher est toutefois plus complexe. Il constitue une cellule sédimentaire à part entière, dans laquelle plusieurs anses sableuses présentent des transferts sédimentaires entre elles. L'Illustration 71 précise les directions de la dérive sur cette cellule, par ailleurs centrée sur le site pilote.



Illustration 70 : Délimitation des cellules hydro-sédimentaires sur la baie de Schœlcher.



Illustration 71 : Délimitation des cellules hydro-sédimentaires sur le site pilote

5.3. DESCRIPTION DE CHAQUE CELLULE SÉDIMENTAIRE

5.3.1. Fond Bourlet

Description

Orientée est-ouest, Fond Bourlet est située à l'extrémité nord de la zone d'étude, sur la commune de Case-Pilote. Cette anse est encadrée par deux falaises édifiées par d'anciennes coulées de débris et de lahars. Elle peut être décrite d'ouest en est en 4 portions (Illustration 72) :

- Un secteur d'enrochements à l'ouest
- L'embouchure constituée d'éléments grossiers
- Une partie sableuse (d50=0.33 mm)

Une plage constituée d'un mélange de sable et de galets. À l'est, le haut de plage est constitué de sables moyens (d50=0.26 mm) qui recouvrent partiellement des galets (d50=72 mm) qui forment la berme de bas de plage (Illustration 73). Au centre de la plage, un bâtiment est construit relativement proche du trait de côte, mais reste toutefois séparé par un affleurement rocheux. À l'est, un mur vertical limite la plage, protégeant la piscine du centre Vetiver.



Illustration 72 : Photographie aérienne de Fond Bourlet



Illustration 73 : Est de la plage de Fond Bourlet avec la présence d'une berme, limitant deux classes de sédiments.

Dynamique sédimentaire

L'anse de Fond Bourlet est isolée des autres par des côtes rocheuses et présente une indentation importante qui limite fortement les possibilités d'apports sédimentaires en provenance des littoraux adjacents. La plage présente une relative stabilité sur le moyen-terme avec une portion enrochée à l'ouest, une avancée marquée du delta de l'embouchure et un secteur à l'est en érosion modérée (non significatif à long terme).

La dérive littorale est majoritairement dirigée de l'est vers l'ouest, comme en témoigne le recul modéré de la partie Est de la baie au profit de la zone située à l'Est de l'embouchure, et la déviation du chenal d'embouchure vers l'ouest sur de nombreuses photographies aériennes. La décroissance granulométrique d'est en ouest supporte également ces observations.

Le delta de l'embouchure bénéficie de ce transit littoral, qui, associé aux apports fluviatiles, contribue à son engraissement.

L'extrémité ouest, enrochée, reste très peu évolutive sur le long terme bien qu'elle ait dû subir un fort recul (en 2004 ou avant) probablement lié à un cyclone et qui a entrainé des mesures d'urgence.



Illustration 74 : Evolution des traits de côte 1951 et 2010 de Fond Bourlet (fond Ortho©IGN 2010

5.3.2. Fond Bellemare

Description

Orientée est-ouest, l'anse de Fond Bellemare est coupée en deux par un terre-plein (Cf. Illustration 75). Une mise à l'eau et un terre-plein protégé par des enrochements ont été construits à proximité de l'embouchure.



Illustration 75 : Photographie aérienne de Fond Bellemare

À l'ouest, la plage est constituée de sables moyens (d50 = 0,28 mm, photo en Illustration 76) et de galets (d50 = 16 mm) au niveau de l'embouchure de la rivière. À l'est de l'aménagement, les sédiments sont semblables (d50 = 0,35 mm). L'extrémité est de la plage est protégée par des enrochements.



Illustration 76 : Partie ouest de la plage de Fond Bellemare, depuis le terre-plein.

Description de la dynamique sédimentaire

A long terme, le trait de côte présente une avancée liée au terre-plein qui a fortement modifié la forme de la baie. Depuis 2004, on perçoit une légère érosion à l'est du terre-plein. Des bâtiments sont construits relativement proches du trait de côte à l'extrémité est du site en arrière des enrochements.



Illustration 77 - Evolution des traits de côte 1951 et 2010 de Fond Bellemare (fond Ortho©IGN 2010)

5.3.3. Fond Bernier

Description

L'anse de Fond Bernier est caractérisée par un important remblai sur la mer, qui accueille un terrain de football (Illustration 78).



Illustration 78 : Photographie aérienne de Fond Bernier

À l'ouest du terre-plein central se trouve une petite plage de galets et de blocs. Les matériaux, grossiers (Illustration 79) sont à la fois apportés par la ravine Fond-Bernier mais aussi issus du démantèlement naturel des falaises. À l'est, il y a une petite plage étroite de sables moyens (d50=0.27 mm).



Illustration 79 : Partie ouest de Fond Bernier limitée par une falaise. Sédiments grossiers à l'ouest de l'embouchure de la ravine (en bas de la photo à droite).

Dynamique sédimentaire

Ces deux plages bénéficient probablement des effets de diffraction de la houle sur le terre-plein central, tout en restant globalement stable à long terme (Illustration 80). La plage demeure toutefois très étroite et les premières habitations sont situées à seulement quelques mètres du trait de côte.



Illustration 80 : Evolution des traits de côte 1951 et 2010 de Fond Bernier (fond Ortho©IGN 2010)

5.3.4. Fond Lahaye

Description

Fond Lahaye est une baie de 350 m séparée en deux par l'embouchure de la rivière, canalisée par des enrochements (Illustration 81). Il y a deux plages de part et d'autre de l'embouchure. Dans le cadre de cette étude, 5 prélèvements ont été réalisés sur ces plages : 3 en rive droite et 2 en rive gauche.

De part et d'autre de l'embouchure, les deux plages sont constituées de sables relativement fins. Plus précisément, en rive droite, les sédiments sont tous des sables moyens d'une granulométrie comprise entre 0,26 et 0,34 mm. En rive gauche, on observe un granoclassement positif des sédiments depuis la partie limitrophe à l'embouchure (d50=0.35 mm) jusqu'à la falaise à l'est (d50=27 mm) (Cf. Illustration 82).



Illustration 81 : Photographie aérienne de Fond Lahaye



Illustration 82 : Plage en rive gauche de Fond-Lahaye, évolution de la granulométrie des sédiments

Dynamique sédimentaire

À long terme, le trait de côte présente une avancée prononcée dans la zone d'embouchure et une relative stabilité des plages de part et d'autre. On observe néanmoins une augmentation de la concavité de la plage ouest en raison de la réfraction de la houle sur le terre-plein de la rive droite de l'embouchure (Illustration 83). À court terme, un recul de la plage en rive gauche a été observé. Egis-Eau (2012) met en évidence un recul progressif de l'interface terre-mer depuis 2000 expliqué par une diminution des apports de la rivière lors des 10 dernières années. Si les conditions hydrodynamiques sont susceptibles de générer une dérive littorale, celle-ci reste

extrêmement faible comme l'atteste l'absence de piégeage sableux au niveau des structures transverses (embouchure, sorties d'eaux pluviales).

Ce site fait l'objet d'un projet d'aménagement portuaire visant à construire un bassin protégé par une jetée sur la quasi-totalité de la plage sud (Egis-Eau, 2012).



Illustration 83 : Evolution des traits de côte 1951 et 2010 de la plage de Fond Lahaye (fond Ortho©IGN 2010)

5.3.5. Madiana

Description

La plage de Madiana est isolée des littoraux sableux adjacents au nord et au sud, par une côte rocheuse (Illustration 84). La baie, d'une longueur de 300 m est faiblement indentée (avancée rocheuse en mer de près de 40 m). Une petite embouchure est présente au sud de la baie.



Illustration 84 : Photographie aérienne de la plage de Madiana

Les deux prélèvements de sables réalisés présentent des sables moyens (granulométrie médiane d50 de 0.36 mm à l'extrémité nord et de 0.27 mm au sud).

En comparant leur couleur, l'échantillon à l'extrémité sud de la plage apparait plus riche en minéraux lourds que l'échantillon situé plus au nord. La différence de colorimétrie aurait tendance à attester d'un transport sédimentaire en direction du nord, où les apports marins plus clairs dilueraient progressivement la concentration d'apport terrigène. Sur cette plage, les apports terrigènes pourraient venir des apports de la rivière Fond Nigaud qui débouche à l'extrémité sud de la plage et du démantèlement de la falaise.

Dynamique sédimentaire

La plage de Madiana constitue une cellule sédimentaire vraisemblablement indépendante de celle du bourg.

Le trait de côte montre une avancée de la limite sable-végétation entre 1951 et 2010 (Illustration 85), probablement d'origine anthropique (plantation de cocotiers).

Bien qu'elle ne soit pas en érosion, la plage présente une dynamique à court-terme dite de rotation, c'est-à-dire de déplacement longitudinal du sable vers le nord ou le sud en fonction des conditions de houle. Ce phénomène, bien qu'il ne se traduise pas par une érosion sédimentaire (le volume de sable restant constant), peut entrainer des variations de la ligne de rivage atteignant localement une dizaine de mètres. Ceci a été également confirmé par les levés topographiques réalisés dans le cadre de cette étude (Annexe 6). Malgré ces alternances (très marquées entre 2004 et 2010 d'après les photos aériennes), la dérive littorale résultante semble se compenser, la plage ne présentant pas de forte asymétrie sur les photographies aériennes en Illustration 84 et Illustration 85. La plage a une largeur relativement importante (supérieure à 30 m) et les premières habitations sont situées à environ 35 m et donc éloignées de la « zone d'oscillation saisonnière » du trait de côte.



Illustration 85 : Evolution des traits de côte 1951 et 2010 de la plage de Madiana (fond Ortho©IGN 2010)

5.3.6. Anse Gouraud

Description

La plage de l'Anse Gouraud est située au fond d'une baie très indentée, d'une trentaine de mètre de longueur. La position du trait de côte est difficile à identifier sur les photographies les plus anciennes, mais la plage semble avancer sur le long terme. Aucun enjeu n'est présent en arrière de la plage sableuse.

Il n'y a pas d'accès public possible. Elle n'a fait l'objet d'aucune expertise de terrain, ni prélèvement granulométrique.



Illustration 86 : Evolution des traits de côte 1951 et 2010 de l'Anse Gouraud. (fond Ortho©IGN 2010)

5.3.7. Pointe des Nègres

La baie de la pointe des Nègres est très indentée (profondeur de 150 m pour une largeur de 160 m) limitée par deux pointes rocheuses. Au centre, on trouve une mise à l'eau bétonnée et un épi en enrochements sur la rive droite de l'embouchure de la ravine Petit-Paradis.

La plage en rive droite est très étroite et est composée de sables et de graviers. Des habitations sont implantées à quelques mètres du trait de côte. Les sédiments prélevés sont des sables grossiers avec une granulométrie moyenne de 3.3 mm (Illustration 87).

La plage en rive gauche, sableuse, est plus large et un bâtiment (hangar à bateaux) est implanté sur la plage.

Les deux plages sont peu végétalisées et anthropisées, ce qui rend difficile l'appréciation de la mobilité réelle de la plage sur le long terme (*Illustration 88*).

Illustration 87 : Plage prélevée à la Pointe des Nègres / Sables grossiers au pied d'une zone urbanisée





Illustration 88 : Evolution des traits de côte 1951 et 2010 à la Pointe des Nègres (fond Ortho©IGN 2010).

5.3.8. Anse Colas à plage du Bourg

Les plages d'Anse Colas, d'Anse Madame et celle du Bourg de Schœlcher constituent un littoral rectiligne sans pointe rocheuse. Bien que cette portion de côte soit découpée par des affleurements rocheux à Anse Colas et par l'aménagement de l'embouchure de la rivière Case-Navire, les trois sites appartiennent à la même cellule sédimentaire d'origine.

Plage d'Anse Colas (ou plage du Lido)

Séparée de l'Anse Madame par une falaise rocheuse de 150 mètres, la plage d'Anse Colas (Lido) présente une granulométrie homogène. Le seul prélèvement effectué sur cette plage indique des sables moyens (d50 = 0.43 mm).

Sa largeur est comprise entre 5 et 12 m. L'analyse diachronique du trait de côte met en évidence une stabilité sur le long terme. Les levés mensuels réalisés en 2013 mettent cependant en évidence une dynamique saisonnière avec un recul du trait de côte pouvant parfois atteindre 7 à 8 m localement. La plage présente toutefois une bonne résilience comme en atteste la stabilité à long terme.



Illustration 89 : Photographie aérienne de la plage du Lido

Plage de l'Anse Madame

Cette plage est située en rive droite de l'embouchure aménagée de la rivière Case-Navire.

La plage auparavant rectiligne est maintenant fortement concave et épouse l'aménagement en rive droite et les terrains gagnés sur la mer (*Cf. Illustration 90*). L'augmentation de la concavité de la plage induit un rétrécissement de la largeur au droit de zones habitées au nord.

Ainsi, la plage est étroite (7-8 m) dans sa partie nord et plus large au sud dans la zone se rattachant aux aménagements de l'embouchure.



Illustration 90 : Photographie aérienne de la plage de l'Anse Madame en rive droite de la rivière Case-Navire

La plage de l'Anse Madame est constituée de sables moyens, d'après les échantillons recueillis dans le cadre de ce projet et d'après les analyses spécifiques réalisées par le CES-CEBTB en décembre 2012 (cf rapport en Annexe 4). Ainsi :

- Sur la partie rectiligne de la plage, les sédiments sont homogènes, classés comme des sables moyens avec une granulométrie médiane d50 de 0.5 mm (d'après cette étude) et de 0.45 mm (d'après le CES-CEBTP);
- Sur la partie courbe de la plage, les sédiments sont moins bien triés, avec une granulométrie médiane d50 de 0.32 mm (d'après cette étude) et de 0.55 mm à 1.4 mm (d'après le CES-CEBTP).

Plage du Bourg

Cette plage est située en rive gauche de l'embouchure de la rivière Case-Navire (Cf. Illustration 91).

Les sédiments prélevés en limite de l'aménagement, à l'extrémité nord-ouest de la plage, sont des sables moyens à grossiers (d50=0.55 mm), clairs. Vers le sud-est, les sédiments sont plus foncés d'une part et plus fins d'autre part, avec une granulométrie médiane de 0.30 mm. La différence de colorimétrie aurait tendance à illustrer un transport sédimentaire de l'extrémité sud-est en direction du nord-ouest, où les apports marins plus clairs dilueraient progressivement la concentration d'apport terrigène. Les apports terrigènes pourraient venir du démantèlement de la falaise qui ferme la plage au sud.

La plage du Bourg, au sud de l'embouchure est relativement large (environ 25 m). La position moyenne du trait de côte est stable sur le long terme (*Cf. Illustration 92*). Toutefois, les différentes photographies aériennes mettent en évidence un phénomène de rotation avec transfert du sable vers le nord ou vers le sud en fonction des conditions d'agitation. Les habitations sont éloignées du haut de plage, sauf dans son extrémité est (maisons et cimetière).



Illustration 91 : Photographie aérienne de la plage du Bourg en rive gauche de la rivière Case-Navire



Illustration 92 : Evolution des traits de côte 1951 et 2010 des plages de Schœlcher (fond Ortho©IGN 2010).

6. Enseignements

6.1. SUR LE FONCTIONNEMENT DES ANSES ET FONDS DE LA BAIE DE SCHŒLCHER

6.1.1. L'indépendance des cellules

Il ressort de cette étude que la géométrie et l'extension des falaises rocheuses découpant la baie de Schœlcher, sont suffisantes pour constituer des zones d'interruption de transfert sédimentaire. La plupart des anses et fonds de la baie de Schœlcher sont donc indépendantes les uns des autres (Illustration 70). Même la plage de Madiana au sud fonctionne vraisemblablement en régime sédimentaire autonome, indépendamment de la plage du bourg de Schœlcher, par exemple. En conformité avec le concept de cellules sédimentaire, un échange sédimentaire est toujours possible entre les deux sites mais il reste extrêmement faible et n'affecte que très peu la dynamique de chacune des deux plages.

Se distingue cependant, le secteur allant d'Anse Colas à la plage du bourg de Schœlcher qui constitue une cellule sédimentaire à part entière, où les transferts sédimentaires entre plages sont significatifs.

6.1.2. Une forte variabilité saisonnière des stocks de sable

L'ensemble de la baie de Schœlcher est soumis au même forçage hydrodynamique et à la même forte bathymétrie de l'avant côte. Chacune des cellules-sédimentaires a des particularités locales qui peuvent ensuite modifier les transits sédimentaires (présence d'embouchure, d'aménagements anthropiques..).

Sur la baie de Schœlcher, et plus particulièrement sur le site pilote, la mobilité saisonnière du stock de sable a été nettement mise en évidence notamment par les levés topographiques sur les plages et par l'observation des photos-aériennes. Les stocks sédimentaires de ces plages peuvent évoluer fortement au cours d'une année sans pour autant conduire au recul du trait de côte. Ces phénomènes saisonniers de basculement (le long de la plage) ou d'oscillation (perpendiculairement à la plage) sont fréquents sur ce type d'environnement.

La mobilité de l'interface terre-mer ne se traduit pas ici par un recul du trait de côte. La dynamique saisonnière n'influence pas nécessairement la dynamique à plus long-terme du trait de côte. Le guide PPRL distingue d'ailleurs cette mobilité spatiale saisonnière, appelée « degré de liberté » du littoral et la tendance à long terme (MEDDE, 2013). Il convient toutefois de noter que la réduction progressive de la largeur de certaines plages augmente leur vulnérabilité face aux événements les plus extrêmes, ou plus précisément, face à la répétition d'évènements extrêmes.

6.1.3. Une dérive littorale globalement très faible

L'analyse statistique des agents hydrodynamique affectant le littoral de Schœlcher (cf chapitre 3) a confirmé la très faible énergie des vagues (Hs < 0,5 m hors événement de tempête) et un angle d'incidence à la côte relativement constant (en moyenne de 20° par rapport à la normale).

À partir de ces données hydro-dynamiques, les simulations numériques confirment bien que la quantité de sédiments transportés latéralement reste globalement faible et que la direction de cette « dérive littorale » reste majoritairement vers le nord / nord-ouest. Une inversion de la direction de la dérive est observée, en saison de carême essentiellement.

Cette étude confirme ainsi que la dérive littorale est particulièrement faible sur le littoral de Schœlcher. Ce sont ensuite les aménagements qui vont modifier localement l'orientation de la côte par rapport à la houle, et donc le sens et l'intensité de la dérive littorale.

6.1.4. Des dysfonctionnements sédimentaires localisés, essentiellement liés à la présence d'aménagements anthropiques

Un aménagement en mer peut avoir deux incidences majeures sur le transport sédimentaire : bloquer le transit sédimentaire long-shore et modifier la direction de la dérive par réfraction des vagues.

Ces aménagements sont donc probablement responsables de plusieurs constats :

- À Fond Bernier, la concavité de la plage en rive droite du terre-plein central et la tendance au recul constaté au sud (Illustration 80);
- À Fond Bellemare, l'avancée en rive droite du terre-plein central et la zone en érosion au sud (Illustration 77) ;
- À Fond LaHaye, la concavité de la plage en rive droite de l'embouchure et le recul constaté au sud (Illustration 83).

Sur le site pilote, les zones d'érosion et d'accrétion constatée coïncident avec les variations de la direction de la dérive littorale évaluées par les modélisations précédentes et induites par l'aménagement des Arrawaks (Illustration 93).

Plus précisément, le nord de la plage de l'Anse Madame présente des signes d'érosion tandis que l'extrémité sud au niveau du centre nautique, s'engraisse. Ces dysfonctionnements sont provoqués par la réfraction de la houle sur les endiguements et remblais au nord de l'embouchure de la rivière Case-Navire qui induit localement un transport sédimentaire du nord de la plage vers le sud. Ce dysfonctionnement a largement été accentué par l'aménagement de 2006 dont la forme particulière accentue encore l'effet de la réfraction. Sur la plage d'Anse Colas, aucune érosion n'a été jusqu'alors particulièrement mise en évidence sur les photos aériennes (limite terre-mer et limite de végétation) mais le changement de direction de la dérive sur la plage d'Anse Madame, pourra à terme diminuer l'alimentation de l'Anse Colas.

La plage de Madiana apparait en équilibre. L'avancée de la limite de végétation est préférentiellement expliquée par les plantations de cocotiers.



Illustration 93 : Correspondance entre dérive littorale et mobilité du trait de côte sur la cellule Anse Colasbourg de Schœlcher

6.2. SUR LE BOUCHON SABLEUX DE L'EMBOUCHURE DE LA RIVIÈRE CASE NAVIRE

La formation d'un bouchon sableux est observée sur la quasi-totalité des embouchures (Balouin, 2005). Ce sont les flux sédimentaires générés par la dérive littorale qui contribuent à la constitution du bouchon à l'embouchure. De tel bouchon dépende donc de l'équilibre entre apport de sédiments par la dérive littorale et capacité de transport solide de la rivière (Illustration 94). La position du bouchon sableux (en delta externe ou plus ou moins enfoncée à l'intérieur de l'embouchure), dépendra essentiellement des vagues et du transport cross-shore.



Illustration 94 : Facteur intervenant dans la formation d'un bouchon sableux. Source : <u>http://tata31.eklablog.com/</u> (modifiée)

Sur la rivière Case-Navire, l'existence de ce bouchon sableux à l'embouchure est effectivement confirmée sur les photos aériennes anciennes (cf photos de 1951 en Illustration 14). En période d'Hivernage, les débits fluviatiles sont suffisants pour évacuer les sédiments vers le large et maintenir ainsi l'embouchure ouverte. En période de Carême, lorsque les débits de la rivière Case Navire sont faibles, la dérive littorale, induite par des houles longues de nord-est (période de l'ordre de 11s) vient progressivement fermer l'embouchure avec des sédiments marins. Cette accumulation sédimentaire marine contribue ainsi fortement à la diminution des écoulements fluviatiles qui génère ensuite un dépôt supplémentaire de sables fluviatiles venant celer le bouchon.

Si ce type de bouchon sableux est observé sur la quasi-totalité des embouchures, le volume de sédiments et donc la vitesse de comblement ont probablement été augmentés par l'aménagement de la rivière Case-Navire.

En effet, la simulation numérique a mis en évidence des flux long-shore importants au droit de l'embouchure, avec une direction dirigée en moyenne vers le sud. Limité sur les deltas naturels peu étendus en mer comme la situation de 1951, ce transport sédimentaire est accentué par les formes deltaïques plus aigües. L'aménagement de l'embouchure ayant contribué au développement rapide de la zone deltaïque vers la mer, son influence sur les apports sableux est probable.

Par ailleurs, l'aménagement a rallongé artificiellement le lit de la rivière d'environ 75 m, ce qui a entraîné une chute de l'énergie fluviatile et la perte de capacité de transport solide au niveau de l'embouchure, ce qui contribue à alimenter le bouchon. Il est aussi possible que la charge solide drainée par la rivière ait augmenté (érosion et rejets amont).



Illustration 95 : Photographie aérienne de l'aménagement des Arawaks, à l'embouchure de la rivière Case Navire, centre ville de Schœlcher
7. Préconisation de gestion

7.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX POUR PRENDRE EN COMPTE LA DYNAMIQUE LITTORALE DANS L'AMÉNAGEMENT DU LITTORAL

7.1.1. Principes du MEDDE (2012)

La gestion intégrée du trait de côte doit répondre aux principes suivants :

« Principe 1 : Le trait de côte est naturellement mobile : il ne peut pas et ne doit pas être fixé partout ;

Principe 2 : Il est nécessaire de planifier maintenant et de préparer les acteurs à la mise en œuvre de la relocalisation à long terme des activités et des biens exposés aux risques littoraux, dans une perspective de recomposition de la frange littorale, et ce même si des mesures transitoires sont mises en œuvre.

Principe 3 : L'implantation de biens et d'activités dans les secteurs où les risques littoraux (submersion marine et érosion côtière) sont forts doit être arrêtée.

Principe 4 : Les aléas submersion et érosion seront pris en compte de manière conjointe dans les plans de prévention des risques littoraux.

Principe 5 : La gestion intégrée du trait de côte prend en compte les trois piliers du développement durable (économie, social, environnement) et la dimension culturelle (patrimoine littoral, paysages...)

Principe 6 : La gestion intégrée du trait de côte repose sur la cohérence entre les options d'urbanisme et d'aménagement durable du territoire, les mesures de prévention des risques et les opérations d'aménagements du trait de côte.

Principe 7 : Dans la perspective du changement climatique, il est nécessaire d'anticiper l'évolution des phénomènes physiques d'érosion côtière et de submersion marine. Cela passe par une bonne connaissance des aléas et du fonctionnement des écosystèmes côtiers dans leur état actuel et une prévision de leur évolution à 10, 40 et 90 ans. Principe 8 : Les données de connaissance des aléas et des écosystèmes côtiers doivent être portées à la connaissance de l'ensemble des acteurs concernés. »

7.1.2. Stratégie de gestion

Pour prendre en compte la dynamique littorale dans l'aménagement du littoral, en préservant les enjeux, quatre types de stratégies sont envisageables (MEDDE, 2012) :

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

7.1.3. Solutions techniques

Les gestionnaires du littoral disposent ainsi d'un panel de solutions variées, dont l'Illustration 96 résume les avantages et inconvénients.

Solution	Avantages	Limites
technique		
1 - Recul stratégique	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	Coûts peuvent être importants, consommation d'espace pour la relocalisation Mesure difficilement acceptable au niveau social
2 - Laisser faire	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
3 – Méthodes do	uces	
Rechargement de plage	Compense le déséquilibre du littoral, impact paysager nul, espace récréatif suffisant, limite les submersions, non néfaste pour les plages avoisinantes	Rechargements réguliers, nombreuses études préalables, entretiens réguliers (parfois couteux), le prélèvement des matériaux doit être proche Impact flore/faune possible
Couvertures de débris végétaux	Accumulation des sédiments, limite l'érosion éolienne, limite les dommages liés au piétinement, développement des communautés végétales, solution durable	Extension des couvertures limitée, surveillance périodique
Brise-vents	Favorisent le dépôt sédimentaire, mise en place simple, peut être combiné à d'autres méthodes, biodégradable, solution durable permettant également de gérer la sur-fréquentation des sites	A éviter dans les zones à forte pente, surveillance périodique
Plantations	Limite l'érosion éolienne, coût amorti, solution durable	Dunes régulièrement entretenues, fréquentation non excessive
Drainage de plage	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
By-passing	Rétablit le blocage de la dérive littorale, 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 si by- pass mécanique (infrastructures routières)
Gestion des embouchures	Rétablit le transit bloqué aux embouchures par des ouvrages (ensablement de grau), ou par la barrière hydraulique du fleuve (delta d'embouchures) Permet la non-fixation d'une embouchure naturellement mobile	Entretiens réguliers à réaliser
Enrochements (épis, brise- lames)	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, coûts d'entretien peuvent être importants Fréquence des entretiens importante
Géotextiles	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, soumis au vandalisme

Illustration 96 : Avantages et limites des différentes solutions de protection contre la mer Source : Balouin et al. (2012)

7.2. PRÉCONISATION DE GESTION DES PLAGES ET DES STOCKS SÉDIMENTAIRES DANS LA BAIE DE SCHŒLCHER

7.2.1. Préconisation de gestion à l'échelle de la baie de Schœlcher

La gestion des stocks sédimentaires de la baie doit se faire nécessairement à l'échelle des cellules sédimentaires

Toute gestion des stocks sédimentaires doit être élaborée à l'échelle des cellules sédimentaires décrites dans le § 5.2. Rappelons que la baie de Schœlcher est constituée d'une succession de petites cellules sédimentaires indépendantes les unes des autres, excepté le linéaire depuis l'Anse Colas au nord jusqu'à la plage du bourg au sud qui constitue une grande cellule complexe.

Ces délimitations constituent donc l'emprise latérale minimale des études d'impacts, pour tout aménagement sur le littoral.

Préserver un espace de liberté suffisant en haut- de plage

Il a été mis en évidence la mobilité de l'interface terre-mer sur ces plages. Cette dynamique saisonnière de basculement (le long de la plage) ou d'oscillation (perpendiculairement à la plage), permet d'assurer la stabilité constatée à long terme.

De manière à ce que les phénomènes d'oscillation saisonnière puissent se faire, il est impératif de conserver un espace de liberté, notamment en haut de plage (De la Torre, 2008). Sans cet espace, on accentue le risque de disparition de la plage, voire des enjeux de haut de plage.

Au-delà de l'espace nécessaire à l'oscillation saisonnière, certains aménagements de haut de plage sont absolument à proscrire, car ils contribuent à la disparition des sédiments en réfléchissant les vagues lors des événements les plus énergétiques.

Dans l'absolue, cette restauration d'un espace de liberté peut s'effectuer soit :

- par un déplacement des enjeux présents, si cela est possible et accepté ;
- par des techniques (dites douces) non fixantes comme le rechargement de plage.

Une technique douce adaptée : le rechargement de plage

Le rechargement de plage reste l'une des techniques les moins contraignantes/néfastes pour l'environnement (excepté pendant la période des travaux). Les études menées sur les littoraux charentais et vendéens montrent que les rechargements de plages permettent de gérer durablement l'érosion côtière à condition de raisonner et d'anticiper les transferts sédimentaires à l'échelle de chaque cellule. Elle est d'autant plus intéressante ici que la dérive littorale est faible (perte de sédiments limitée).

Ce rechargement doit toutefois être précédé :

 d'une étude technique pour évaluer la compatibilité granulométrique et chimique du sable prélevé avec les sédiments de l'endroit à recharger (exemple de note technique en Annexe 5 concernant le rechargement avec les sédiments de l'embouchure de la rivière Case Navire); d'une demande à la Police de l'Eau (dossier loi sur l'Eau) et d'une étude d'impact du rechargement pour évaluer les effets d'un apport, même local sur le reste du littoral et notamment la faune et la flore présente (notamment herbier, coraux, qui peuvent être affectés par l'augmentation de la turbidité lors des travaux). L'étude d'impact doit s'intéresser à la cellule dans sa globalité.

Les techniques non adaptées dans la baie de Schœlcher

Plusieurs techniques sont décrites dans l'Illustration 96. Parmi elles, les méthodes dures qui consistent à fixer le trait de côte sont souvent à éviter car leurs impacts sont à terme souvent néfastes (De La Torre, 2008) :

- les épis conçus pour bloquer le transit littoral sont inadaptés en raison de la très faible dérive littorale sur ce site ;
- les talus en enrochements ou géotextiles, conçus pour protéger l'arrière-plage déstabilisent fortement le littoral et génèrent, par réflexion de la houle, la disparition progressive de la plage.

Parmi les techniques douces décrites dans l'Illustration 96, les techniques de drainage de plage ne sont pas adaptées à la très faible largeur des plages de la baie de Schoelcher et à l'oscillation saisonnière du trait de côte.

7.2.2. Diagnostic particulier sur les secteurs qui présentent les risques les plus forts sur les enjeux d'habitation

Trois secteurs présentent des dysfonctionnements sédimentaires menaçant à terme des enjeux. Il s'agit de :

- La plage de Fond Bourlet ;
- La plage de Fond Lahaye ;
- La plage d'Anse Madame.

Fond Bourlet

Au sein de la baie de Fond Bourlet, l'extrémité est de la baie présente des signes d'érosion. Bien qu'à long terme la plage présente une relative stabilité, le mur du centre Vetiver peut être menacé par l'oscillation du trait de côte. À plus court terme, la présence du mur, en accentuant la réflexion des vagues, peut entrainer la disparition de la plage.

Par ailleurs, la zone d'embouchure de la rivière prograde, par effet de la dérive, et par les apports fluviatiles, avec un risque de fermeture temporaire du débouché de la rivière.

Les solutions techniques viseraient à préserver le comportement dynamique naturel du littoral et à restaurer un espace de liberté de la plage afin que les phénomènes d'oscillation saisonnière puissent avoir lieu.

Cette restauration d'un espace de liberté peut s'effectuer :

- soit par un déplacement des enjeux présents si cela est possible et accepté ;
- soit par des techniques douces visant à augmenter la largeur de plage, de manière à améliorer l'amortissement des houles d'une part et à restaurer un espace de liberté suffisant. Il pourrait s'agir d'un rechargement à l'extrémité est, avec les sédiments du delta de l'embouchure par exemple.



Illustration 97 : Solution envisageable pour lutter contre l'érosion à Fond Bourlet

Fond Lahaye

La plage de Fond Lahaye fait l'objet d'un projet de développement portuaire. Elle est donc exclue du périmètre de cette étude pour le volet des préconisations / recommandations.

Anse Colas – plage du bourg

Les dysfonctionnements sédimentaires observés au sein de cette cellule concernent essentiellement la plage de l'Anse Madame et l'ensablement récurrent de l'embouchure, générant des phénomènes d'inondation lors des crues.

Plus précisément, le nord de la plage de l'Anse Madame présente des signes d'érosion tandis que l'extrémité sud au niveau du centre nautique, s'engraisse. Ces dysfonctionnements sont provoqués par la réfraction de la houle sur les endiguements et remblais au nord de l'embouchure de la rivière Case-Navire qui induit localement un transport sédimentaire du nord de la plage vers le sud. Ce dysfonctionnement a largement été accentué par l'aménagement de 2006 dont la forme particulière accentue encore l'effet de la réfraction. Sur la plage d'Anse Colas, aucune érosion n'a été jusqu'alors particulièrement mise en évidence sur les photos aériennes mais le changement de direction de la dérive sur la plage d'Anse Madame, pourra à terme menacer la plage.

Ces dysfonctionnements sont voués à se poursuivre jusqu'à ce que la plage d'Anse Madame ait atteint un nouvel profil d'équilibre sédimentaire. Les enjeux présents au nord de la plage de l'Anse Madame pourraient être menacés. À plus court terme, l'urbanisation proche du trait de côte (les murets notamment) peut, par l'effet de la réflexion des vagues lors des fortes houles et la disparition de l'espace naturel du haut de plage, conduire à la disparition de la plage.

En attendant que la plage retrouve globalement un profil d'équilibre, des mesures compensatoires provisoires nécessitent d'être prises pour réduire les risques au nord de la plage, sur les habitations et sur la disparition de la plage.

Une solution adaptée serait de compenser le déficit au nord par des rechargements localisés réguliers. Sous réserve de vérifier les critères granulométriques et qualitatifs, les sédiments pourraient être prélevés au niveau du bouchon sableux de l'embouchure, ce qui aurait l'avantage de réduire les pressions en aval du bouchon. Le rechargement viserait à la fois à réalimenter la plage déficitaire et à réduire le phénomène de réfraction sur le remblai. Par ailleurs, en augmentant les sédiments disponibles, ces rechargements renforceraient le transit vers le nord et la continuité sédimentaire entre l'Anse Madame et Anse Colas.



Ces solutions sont présentées sur l'Illustration 98.

Illustration 98 : Possibilité technique pour lutter contre l'érosion dans la cellule bourg de Schoelcher – Anse Colas

8. Conclusion

Cette étude apporte une compréhension des mécanismes de transport sédimentaire globale à une échelle adaptée qui permet d'envisager la mise en place d'un plan de gestion du littoral (et notamment de gestion des sédiments) sur la baie de Schœlcher pour anticiper les dysfonctionnements sédimentaires.

Au-delà, cette étude apporte une caractérisation hydro-dynamique et hydro-sédimentaire à l'échelle de la baie de Schœlcher, disponible pour d'autres finalités.

Concernant le contexte hydro-dynamique

L'analyse des agents hydro-climatiques a d'abord confirmé plusieurs aspects particuliers des états de mer dans ce secteur complexe à caractériser car situé dans une zone d'ombre (abritée de l'action directe des vagues du fait de la morphologie de l'île) :

- les caractéristiques des vagues de part et d'autre de la baie de Schœlcher sont très différentes. En effet, les houles au nord du secteur sont essentiellement issues du canal de la Dominique (au Nord de la Martinique) alors que les houles observées au sud sont à la fois influencées par le nord et le sud et sont caractéristiques de la façade Caraïbes. Les vagues affectant le site d'étude sont donc issues de la rencontre de ces régimes opposés ; leur résultante peut être variable à l'échelle d'une journée, notamment du fait de l'intensification de l'action du vent local (mer peu formée dite mer de vent) ;
- la résultante des vagues peut varier à l'échelle d'une journée, notamment du fait de l'intensification de l'action du vent sur les vagues (mer peu formée dite mer de vent) ;
- quelle que soit la situation de houles au large (hors situation de cyclone), l'angle d'incidence des vagues à la côte est relativement réduit, au maximum de 20° (par rapport à la normale à la plage);
- les vagues sont, hors situation de cyclone, très faiblement énergétiques (hauteur significative des vagues < 0,5 m).

Comme les vagues affectant la baie sont issues d'influences nord et sud, la classification statistique des données de vagues a été réalisée en deux points (nord et sud) au large de la zone d'étude, sur une période de 23 ans de données (1990-2012).

Finalement, cinq états de mer caractéristiques du littoral de Schœlcher ont été identifiées (S1 à S5). Les situations S1 et S2 pourront être observées toute l'année mais plus particulièrement lors de la saison cyclonique (ou hivernage). La situation S3 est quant à elle plus caractéristique de l'Hivernage. Enfin, les situations S4 et S5 correspondent plus particulièrement à la période au Carême.

Les conditions d'agitation qui génèrent les transports sédimentaires à la côte ont été modélisées pour ces 5 conditions de vagues. La provenance des vagues attaquant le littoral de Schœlcher est sud-ouest pour les situations S1, S2 et S3 et ouest pour les situations S4 et S5.

Concernant le contexte hydro-sédimentaire

La géométrie et l'extension des falaises rocheuses découpant la baie de Schœlcher, sont suffisantes pour constituer des zones d'interruption du transfert sédimentaire. La plupart des anses et fond de la baie sont donc indépendantes les uns des autres, y compris la plage de Madiana qui fonctionne vraisemblablement en régime sédimentaire autonome, indépendamment de la plage du bourg de Schœlcher. Seul se distingue le secteur allant d'Anse Colas à la plage du bourg de Schœlcher qui constitue une cellule sédimentaire à part entière, dans laquelle les différentes anses sableuses présentent des transferts sédimentaires entre elles.

Toute gestion de l'érosion doit être élaborée à l'échelle de ces cellules. Ces délimitations constituent aussi l'emprise latérale minimale des études d'impacts, pour tout aménagement sur le littoral.

À l'intérieur de ces cellules, la mobilité sédimentaire du littoral est contrôlée par des dynamiques à la fois cross-shore (perpendiculaire à la côte) et long-shore (parallèle à la côte). Les mesures à l'aide du piège à sédiment ont permis de mettre en évidence l'importance quantitative du cross-shore par rapport au longshore.

Les simulations numériques confirment bien que la quantité de sédiments transportés latéralement reste faible (essentiellement liée aux conditions de houle peu énergétiques) et que la direction de cette « dérive littorale » reste majoritairement vers le nord / nord-ouest. Si une inversion de la direction de la dérive (vers le sud) est observée pour certains états de mer, en saison de carême essentiellement, ce sont surtout les aménagements qui vont modifier de façon permanente le sens de la dérive naturelle et entrainer, de ce fait, localement des dysfonctionnements sédimentaires.

La mobilité saisonnière du stock de sable a également été nettement mise en évidence (par les levés topographiques sur les plages et l'observation de photos-aériennes). Cette dynamique naturelle permet d'assurer la stabilité constatée à long terme. Il est impératif de conserver un espace de liberté, notamment en haut de plage, pour qu'elle puisse se réaliser. Sans cet espace, on accentue le risque de disparition de la plage, voire des enjeux de haut de plage. Ce risque concerne particulièrement deux secteurs localisés sur Fond Bourlet et Anse Madame. Cette restauration d'un espace de liberté peut s'effectuer soit en déplaçant les enjeux présents, si cela est possible et accepté, soit par des techniques (dites douces) non fixantes comme le rechargement de plage.

La diminution de cet espace de liberté est provoquée, la plupart du temps, par un aménagement, qu'il soit en mer ou sur le haut de plage. Ainsi, la présence de muret en haut de plage (piscine du centre Vétiver par exemple) est à proscrire car elle accentue la réflexion des vagues et donc la disparition de la plage. L'autre effet possible d'un aménagement est la modification de la direction de la dérive par réfraction des vagues. À Anse Madame, les zones d'érosion et d'accrétion constatée sont expliquées par la réfraction de la houle sur les endiguements et remblais au nord de l'embouchure de la rivière Case-Navire qui modifie localement la direction de la dérive.

Concernant le bouchon sableux

La présence de bouchon sableux comme celui observé à l'embouchure de la rivière Case Navire est conditionnée par la balance entre l'apport de sédiments de la dérive littorale et la capacité de transport solide de la rivière. En période d'Hivernage, les débits fluviatiles sont suffisants pour évacuer les sédiments vers le large et maintenir ainsi l'embouchure ouverte. En période de Carême, lorsque les débits de la rivière Case Navire sont faibles, la dérive littorale, induite par des houles longues de nord-est (période de l'ordre de 11s) vient progressivement fermer l'embouchure avec des sédiments marins. Cette accumulation sédimentaire marine contribue à la diminution des écoulements fluviatiles et de leur énergie, ce qui génère un dépôt supplémentaire de sables fluviatiles venant sceller le bouchon.

Si ce type de bouchon sableux est observé sur la quasi-totalité des embouchures, le volume de sédiments et donc la vitesse de comblement ont probablement été augmentés par l'aménagement de la rivière Case-Navire.

En effet, la simulation numérique a mis en évidence des flux longshores importants au droit de l'embouchure, avec une direction dirigée en moyenne vers le sud. Limité sur les deltas naturels peu étendus en mer comme la situation de 1951, ce transport sédimentaire est accentué par les formes deltaïques plus aigües. L'aménagement de l'embouchure ayant contribué au développement rapide de la zone deltaïque vers la mer, son influence sur les apports sableux est probable.

Par ailleurs, l'aménagement a rallongé artificiellement le lit de la rivière d'environ 75 m, ce qui a entraîné une chute de l'énergie fluviatile et la perte de capacité de transport solide au niveau de l'embouchure, ce qui contribue à alimenter le bouchon. Toutefois, d'autres facteurs peuvent aussi réduire cette capacité de transport comme l'augmentation de la charge solide drainée par la rivière (érosion et rejets amont par exemple).

9. Bibliographie

Balouin, **Y.**, 2005. Les embouchures tidales et leur delta : description et fonctionnement. Océanis, 29 (1-2) : 181-207.

Balouin Y., Belon R., Stépanian A., Bodéré G. (2012). Etude générale pour la protection du littoral de la Plaine orientale de Corse – Préconisations de gestion. Rapport BRM/RP-61650-FR ; 52 p ; 36 ill.

Bayram A, Larson M., Hanson H. (2007) A new formula for the total longshore sediment transport rate, Coastal Engineering 54 700–710

Booij N., Ris R. C., Holthuijsen L. H. (1999) - A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, J. Geoph. Research, C4, 104, 7649–7666,.

CRÉOCEAN (1998) – Commune de Schœlcher. Expertise hydrosédimentaire préalable à l'aménagement du front de mer – Dossier 98023 – 23p.

CRÉOCEAN (2003) – Travaux d'aménagement du front de mer du bourg de Schœlcher – Impact Environnemental – Note Technique 101077–NT-3 - 13p.

De la Torre Y. (2008). Livret pédagogie « Gestion de l'érosion du littoral de Mayotte. Rapport final. Rapport BRGM/RP-56366-FR.30 p.

Dolique F., Charpentier J. (2014a) – Suivi topographique de l'évolution des plages de Schœlcher – Rapport technique, sous-traitance BRGM-DELTA -18p.

Dolique F., Charpentier J. (2014b) – Piégeage sédimentaire : Analyse des flux sédimentaires dominants par piégeage Kraus - Rapport technique, sous-traitance BRGM-DELTA -23p

Egis Eau (2012) – Aménagement du front de mer de Fond Lahaye. Etude des impacts hydro sédimentaires des aménagements de Fond Lahaye. Rapport final. Aout 2012

Idier, D., Pedreros R., Oliveros C., Sottolichio A., Choppin L. et Bertin X. (2006). Relative Contributions of current and waves on the hydro-sedimentary dynamics in the Pertuis Charentais, France, C.R. Geosciences, Vol. 338, 718-726, 2006.

Kamphuis, J.W., Davies, M.H., Nairn, R.B. and Sayao, O.J. (1986), "Calculation of Littoral Sand Transport Rate", Coastal Engineering, Vol. 10, pp. 1-21.

Kamphuis, J.W., (1991). Alongshore sediment transport rate. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering 117 (6), 624–641.

Kamphuis, J.W., (2002). Alongshore transport of sand. Proceedings of the 28th International Conference on Coastal Engineering. ASCE, pp. 2330–2345.

Le Cozannet, G., Lecacheux, S., Delvallee, E., Desramaut, N., Oliveros, C., and Pedreros, R.: (2011). Teleconnection Pattern Influence on Sea-Wave Climate in the Bay of Biscay, Journal of Climate, 24, 641-652, 10.1175/2010JCLI3589.1, 2011.

Lecacheux, S., Pedreros, R., Le Cozannet, G., Thiebot, J., De La Torre, Y., and Bulteau, T.: A method to characterize the different extreme waves for islands exposed to various wave regimes: a case study devoted to Reunion Island, Natural Hazards and Earth System Sciences, 12, 10.5194/nhess-12-2425-2012, 2012.

Lemoigne B., Paulineau M., Nachbaur A. Stépanian A. (2013). Établissement d'un état de référence du trait de côte de la Martinique : situation en 2010 et évolution historique depuis 1951. Rapport final. BRGM/RP- 61686-FR150 p 85, 31 illustrations, 2 annexes

MEDDE (2012). Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte Vers la relocalisation des activités et des biens. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

MEDDE (2013). Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux. Réalisés sous la maitrise d'ouvrage de la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'énergie.

Nachbaur A., Paulineau M., Le Roy M. (2014). Evolution multidécennale (1951-2010) et décennale (2004-2010) du trait de côte de la Martinique. Rapport final. BRGM/RP-63238-FR p85, 31 illustration, 2 annexes.

Proust W. (2004). Gestion intégrée des sédiments sur le littoral Charentais. VIIIème journées nationales génies civil-génie côtier. Compiègne, 7-9 septembre 2004

SAFEGE (2010) - Etude de faisabilité technico-économique pour un barrage hydro-électrique sur la rivière Case-Navire – Phase 1 : Analyse des contraintes. Affaire numéro 10MMA023. 92p.

Van Rijn, Handbook of sediment transport by currents and waves. Report H461, WL|Delft Hydraulics, The Netherland (1989).

Van Rijn, L. C. (2000). General view on sediment transport by currents and waves." *Rep. Z2899*, Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.

Wentworth, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology, 30, 377-392.

Annexe 1

Profils de plage utilisés pour le calcul des pentes



, × .

Annexe 2

Mobilité sédimentaire au niveau des capteurs hydrodynamiques – Aquadopp Nord, Sud et ADCP

Note technique de D. Idier, le 14/01/2014

1. Méthode

Afin de caractériser la mobilité sédimentaire au niveau des trois capteurs hydrodynamiques mouillés entre décembre 2012 et mai 2013, trois paramètres sont calculés : les tailles de grain maximales mises en mouvement à chaque instant, le temps relatif de mise en mouvement de sédiment de taille donnée au cours de la mesure, les flux de sédiments.

a. Calcul des tailles de grain maximales mises en mouvement

Le calcul de la taille de grain maximale potentiellement mise en mouvement s'appuie sur la méthode présentée dans Idier et al. (2006). Nous rappelons succinctement cette méthode.

Pour que le sédiment soit mis en mouvement, la contrainte au fond liée à la rugosité de peau doit être supérieure à une contrainte critique ($\tau_b > \tau_{bc}$). La plupart des calculs de contrainte critique de mise en mouvement sont basés sur le paramètre de Shields (van Rijn, 1989), défini par : $\theta_c = \tau_{bc} / g(\rho_s - \rho)D_{50}$, avec g l'accélération de pesanteur, ρ_s la masse volumique du sédiment. Ce paramètre de Shields critique, de mise en mouvement du sédiment, est fonction du paramètre de mobilité $D_* = (g(s-1)/\nu)D_{50}$ avec ν la viscosité cinématique de l'eau, et s la densité relative du sédiment [19]. Afin d'estimer les tailles maximales de grains mis en mouvement par l'action conjointe des courants et des vagues, nous utilisons la somme des paramètres de Shields liés au courant d'une part et aux vagues d'autre part $\theta_{1,2} = \theta_1 + \theta_2$, et, par méthode inverse, déduisons la taille maximale de grain mise en mouvement sous cette contrainte. En termes de domaine granulométrique étudié, cette approche est appliquée à la gamme de taille de grain supérieure à 0,063 mm.

b. Calcul des temps de mise en mouvement

Le temps relatif de mise en mouvement au cours de la mesure est calculé pour une gamme de taille de grain. A chaque instant, on détermine si la taille de grain Dgi est mise en mouvement ou non par l'hydrodynamique (voir paragraphe ci-dessus). In fine, on obtient une courbe de temps relatif de mise en mouvement en fonction de la taille de grain considérée.

c. Calcul des flux de sédiment charriés

Les flux de sédiments charriés sont calculés en utilisant la relation de van Rijn (1989), qui est une des relations les plus utilisées et reconnues en domaine peu profond, domaine où ont été effectuées les mesures hydrodynamiques.

$$q_{b}(t) = 0.25 \rho_{s} \alpha D_{50} D_{*}^{-0.3} [\tau_{cw} / \rho]^{0.5} [(\tau_{cw} - \tau_{bc}) / \tau_{bc}]^{1.5}$$

Avec $\alpha = 1 - (H_s / h)^{0.5}$ et τ_{cw} la somme des contraintes dues aux vagues et au courant.

2. Données d'entrée

Les données hydrodynamiques exploitables couvrent des durées allant de 4 jours (ADCP) à 138 jours (Aquadopp Nord). La faible durée exploitable de données pour l'ADCP s'explique par un dysfonctionnement au niveau de la mesure de courant, tandis que les vagues ont été mesurées correctement sur une durée de 29 jours. Dans l'analyse de la mobilité sédimentaire, les données de vagues et de courants sont interpolées temporellement à une résolution de 15 min, permettant de décrire l'évolution temporelle des courants et des vagues, et de pouvoir calculer la contrainte au fond due à l'action conjointe des courants et des vagues.

En termes de granulométrie, les caractéristiques au niveau des 3 capteurs sont telles que 97 à 100% du sédiment a une taille de grain supérieur à 0,063 mm, permettant l'application de la méthode décrite ci-dessus. Les sédiments sont caractérisées par une granulométrie majoritairement comprise entre 0,063 et 2 mm, avec une taille de grain médiane D50~0,25 mm (sable moyen, selon l'échelle de Wentworth).

			Aquadopp Nord	Aquadopp Sud	ADCP		
	Pi	rof. moyenne	14,22 m	10,85 m	7,77 m		
		Tdeb	04/12/12 14:00	04/12/13 15 :00	4/12/13 16:37		
	U et D	Tfin	07/05/13 12:00	27/03/13 16 :45	04/02/13 14:11		
		Dt	15 min	15min	15 min		
		Tdeb	04/12/12 14:07	04/12/12 15:07	04/12/12 18:27		
nique	Hs, Tp	Tfin	07/05/13 13:07	24/03/13 22:07	07/02/13 11:41		
ynaı		Dt	1h	1h	1h		
drod	Durás Tetals	brute	154 jours	113 jours	68 jours		
Нус	Duree Totale	exploitable	138 jours	95 jours	4 jours		
		< 0,063 mm	0%	0%	1%		
tologie	Granulométrie	> 0,063 mm et < 2 mm	100%	97%	99%		
nent	clandionictific	> 2 mm	0%	3%	0%		
Sédir		D50	0.25 mm	0.26 mm	0.25 mm		

 Tableau 1 : Synthèse des données hydrodynamiques et sédimentaires utilisées pour la caractérisation de la mobilité sédimentaire au niveau des capteurs hydrodynamiques.

3. Résultats

Pour chaque capteur, les données hydrodynamiques d'entrée, ainsi que les résultats en termes de taille de grain mobilisable, temps de mobilité, et flux de sédiments charriés sont fournis en Annexe. Ici, seuls les résultats et conclusions principales sont fournis.

Le Tableau 2 récapitulent les résultats principaux.

En termes de tailles de grains mobilisables potentiellement mises en mouvement, les figures suivantes montrent les résultats, pour chaque capteur hydrodynamique, au cours du temps. Cette figure illustre la faible mobilité des sédiments au niveau des capteurs. Au niveau de l'ADCP, les courants et les vagues sont trop faibles pour mettre en mouvement les sédiments dans la gamme de taille de grain étudiée (> 0,063 mm). On note par contre une mobilité potentielle (faible) des sédiments au niveau des 2 Aquadopps. Pour ces 2 capteurs, les résultats montrent que les sédiments sont principalement mis en mouvement par les courants. L'action conjointe des vagues engendre des tailles de grains mobilisables supérieures, mais les vagues seules ne permettent pas de mettre en mouvement des sédiments, dans la gamme étudiée (i.e. de taille supérieure à 0,063 mm). Entre ces 2 capteurs Aquadopps, on peut noter que les sédiments semblent moins souvent mis en mouvement au niveau du capteur Aquadopp Nord, mais avec des tailles de grains pouvant atteindre 0,84 mm, tandis que les sédiments sont plus souvent mis en mouvement au niveau du capteur Aquadopp Sud mais avec des tailles de grains plus faibles.

L'analyse du temps relatif de mobilité pour des tailles de grain de 0,25 mm (i.e. le ratio entre durée de mobilité et durée de données hydrodynamiques valides) montre que, globalement, les sédiments présents au niveau des capteurs sont très peu mobiles (temps de mobilité relative \leq 0,1 %, Tableau 2). En termes de flux de sédiments charriés, les résultats indiquent qu'ils atteindraient une valeur maximale de l'ordre de 10 kg/m/h, tandis qu'en moyenne, sur la durée de la campagne de mesure, ils sont inférieurs à 0,01 kg/m/h.

En résumé, la dynamique sédimentaire au niveau des capteurs hydrodynamiques est très faible : peu de mobilité des sédiments, flux de sédiments charriés très faibles.

-	Aquadopp	Aquadopp		
	Nord	Sud		
Temps de mobilité* (Dg=0.25 mm)	0,04%	0,1%	0%	
Taille de grain maximale mise en mouvement	0,84 mm	0,38 mm	-	
Taille de grain moyenne mise en mouvement	0,16 mm	0,11 mm	-	

Flux de sédiment max (Dg=0.25 mm)	10.24	0.24	-
Flux de sédiment moyen (Dg=0.25 mm)	0.0015	0.00009	-

Tableau 2 : Tailles de grain obtenues pour chaque capteur hydrodynamique. Temps de mobilité :rapport entre durée de mise en mouvement et durée de la mesure hydrodynamique valide.

Références

Idier, D., Pedreros R., Oliveros C., Sottolichio A., Choppin L. et Bertin X., Relative Contributions of current and waves on the hydro-sedimentary dynamics in the Pertuis Charentais, France, C.R. Geosciences, Vol. 338, 718-726, 2006.

L.C. Van Rijn, Handbook of sediment transport by currents and waves. Report H461, WL|Delft Hydraulics, The Netherland (1989).

Analyse de la dynamique hydro-sédimentaire au niveau des capteurs hydrodynamiques – Aquadopp Nord



Figure 1 : Données hydrodynamiques d'entrée – Aquadopp Nord : (a) Hauteur significative des vagues, (b) période pic des vagues, (c) courant (intégré sur la verticale – 2DH - et mesuré directement à la cote z – u(z=1.40m)). 'orig' : données originales, 'interp' : données interpolées sur le vecteur temps des mesures de courants.



Figure 2 : Potentiel hydrodynamique de mobilité sédimentaire au capteur Aquadopp Nord : (a) Taille de grain maximale potentiellement mise en mouvement, (b) temps relatif de mise en mouvement des grains, (c) Flux solide charrié.

Analyse de la dynamique hydro-sédimentaire au niveau des capteurs hydrodynamiques – Aquadopp Sud



Figure 3 : Données hydrodynamiques d'entrée – Aquadopp Sud : (a) Hauteur significative des vagues, (b) période pic des vagues, (c) courant (intégré sur la verticale – 2DH - et mesuré directement à la cote z – u(z=1.40m)). 'orig' : données originales, 'interp' : données interpolées sur le vecteur temps des mesures de courants.



Figure 4 : Potentiel hydrodynamique de mobilité sédimentaire au capteur Aquadopp Sud : (a) Taille de grain maximale potentiellement mise en mouvement, (b) temps relatif de mise en mouvement des grains, (c) Flux solide charrié.

Analyse de la dynamique hydro-sédimentaire au niveau des capteurs hydrodynamiques – ADCP



Figure 5 : Données hydrodynamiques d'entrée – ADCP : (a) Hauteur significative des vagues, (b) période pic des vagues, (c) courant (intégré sur la verticale – 2DH - et mesuré directement à la cote z – u(z=1.74m)). 'orig' : données originales, 'interp' : données interpolées sur le vecteur temps des mesures de courants.



Figure 6 : Potentiel hydrodynamique de mobilité sédimentaire au capteur ADCP : (a) Taille de grain maximale potentiellement mise en mouvement, (b) temps relatif de mise en mouvement des grains, (c) Flux solide charrié.

Annexe 3

Caractéristiques granulométriques des échantillons - Présentation statistique des résultats du CESBTP

SAMPLE STATISTICS								
SAMPLE IDENTITY: Aquadopp Nord ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013								
SAMPLE TYPE: Polymodal, Very Poorly Sc					rted TE	XTURAL GI	ROUP: Gravel	
SEDIMENT NA	ME: \	/егу С	oarse G	Gravel				
1	μ	m	φ	_		GRAIN S	IZE DISTRIBU	<u>TION</u>
MODE 1	850	00.0	-6,40	7		RAVEL: 82,	6% COAR	SE SAND: 7,2%
MODE 2	450	00.0	-5.48	3		SAND: 17,	4% MEDIL	JM SAND: 2,7%
	180	00 0	-4.16	1		MUD: 0,0	% Fli	NE SAND: 0,4%
	100	7 2	-6 44	1			V FI	NE SAND: 0,0%
	250	12 Q	-4 64	6	V COARSE GI	RAVEL: 45.	6% V COA	RSE SILT: 0,0%
		92,3 85 0	0.063	3	COARSE G	RAVEL: 15.	9% COA	RSE SILT: 0,0%
		75	0,000	0		RAVEL 7.7	% MED	IUM SILT: 0,0%
(D ₉₀ / D ₁₀).	90	0000	-0,01	4		RAVEL 77	% F	INE SILT: 0.0%
(D ₉₀ - D ₁₀):	859	08,0	0,004	+			% \/F	INE SILT: 0.0%
(D ₇₅ / D ₂₅):	12	2,56	0,38	1	VFINEG		70 V I 0/	
(D ₇₅ - D ₂₅):	546	96,6	3,65	1	V COARSE	SAND: 0,9	70	GEAT. 0,070
	. ,							
METHOD				od of Mon	MENTS		FULK & WAR	
		Arith	metic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
		μ	m	μm	φ	μm	<u> </u>	
MEAN	(\overline{x}) :	276	73,0	6227,5	-3,405	14930,1	-3,900	Medium Gravel

2,461

0,482

1,819

19,43

-1,853

5,967

0,759

2,265

MEAN (\overline{x}) : 27673,0 SORTING (σ): 27788,2 SKEWNESS (Sk): KURTOSIS (K):



Very Poorly Sorted

Very Fine Skewed

Very Platykurtic

2,137

0,787

0,558

4,399

-0,787

0,558



.



Particle Diameter (µm)

SAMPLE TY SEDIMENT NA	SAMPLE TYPE: Polymodal, Very Poorly Sorted TEXTURAL GROUP: Gravel SEDIMENT NAME: Very Coarse Gravel									
						<u> </u>				
	. u	.m	ф			GRAIN SL	ZE DISTRIBU		_	
MODE 1	850	00,0	-6,40	7	G	RAVEL: 82,8	% COAF	(SE SAND: 7,4%		
	450	100.0	-5.483	3		SAND: 17,2	% MEDI	'UM SAND: 2,5%		
	180	100.0	-4 16	1		MUD: 0,0%	៍ Fl	INE SAND: 0,2%		
		11 1	-6 44	1			VF	INE SAND: 0,0%		
	251	56 0	-4 65	3	V COARSE G	RAVEL: 45.7	% V COA	\RSE SILT: 0,0%		
	20	195,5	0.01%	~ }	COARSE G	RAVEL: 15.9	% COA	RSE SILT: 0,0%		
	000	,00,0 , 67	_0,01	2	MEDIUM G	RAVEL 7.7%	6 MEL	210M SILT: 0,0%		
$(D_{90} / D_{10}):$		87,67 -0,00		~ {		RAVEL 77%	<u>ن</u> ــــــ	FINE SILT: 0.0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	1. 855	594,5	0,454	7			- 6 V	FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	12	2,44	0,38:	3	V FINE G	CAND. 7 40	υ ν			
(D ₇₅ - D ₂₅):	547	715,9	3,63)	7	V COARSE	V COARSE SAND: 7,1%		ULAT. U,U/V		
1			METH	OD OF MON	MENTS	•	FULK & WAF			
	ļ	Arithr	netic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description		
		ur	m	μm	φ	μm	¢			
MEAN	(\overline{x})	277	19,6	6298,9	-3,422	15076,6	-3,914	Medium Gravel		
		2778	34.5	19,32	2,437	4,339	2,118	Very Poorly Sorted		
SKEIWINESS	(51)	0.7	'58	-1.872	0.464	-0,791	0,791	Very Fine Skewed		
	(<i>K</i>)-	22	63	6.044	1,772	0,552	0,552	Very Platykurtic		
	· \				·				_	



SAMPLE STATISTICS

SAMPLE IDENTITY: Fond Bourlet A

ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013

SAMPLE IDENTI	TY: Fond I	Bouriet	В	ANALISI & DATE. CES-CEDTE, 0/1/2010				
SAMPLE TY SEDIMENT NA	PE: Unimo ME: Very C	dal, Very oarse G	Well Sorted	d TE	XTURAL	group: (Gravel	
	um	¢			GRAIN	I SIZE <u>DIS</u>	TR <u>IBU</u>	
MODE 1:	85000,0	-6,407	•	G	RAVEL: 1	00,0%	COAR	SE SAND: 0,0%
MODE 2:					SAND: 0	,0%	MEDIL	JM SAND: 0,0%
MODE 3:					MUD: 0	,0%	Fli	NE SAND: 0,0%
	36690.2	-7.324	Ļ				V FI	NE SAND: 0,0%
MEDIAN or Droit	86019.5	-6.427	,	V COARSE G	RAVEL: 9	2,9% \	/ COAl	RSE SILT: 0,0%
	160202.7	-5.197	,	COARSE G	RAVEL: 6	,7%	COA	RSE SILT: 0,0%
(D_{00}/D_{10})	4.366	0.710		MEDIUM G	RAVEL: 0	,4%	MED	IUM SILT: 0,0%
$(D_{00} - D_{10})^{\prime}$	123512.5	2,126		FINE G	RAVEL: 0	,0%	F	INE SILT: 0,0%
(D_{75} / D_{75})	0 270	1 460		V FINE G	RAVEL: 0	,0%	VF	INE SILT: 0,0%
(D ₇₅ - D ₂₅):	######################################	-1,891	l	V COARSE	SAND: 0	0%		CLAY: 0,0%
						FOLK 8	WAR	D METHOD
	Arith	metic	Geometric	Logarithmic	Geometi	ric Logarit	hmic	Description
		m	μm	ф ф	μm	φ.		
MEAN	(\bar{x}) 390	86,0	765,4	-3,553	29089,	5 -4,86	52	Coarse Gravel
SORTING	(₍₎ : 362	58,5	217,3	2,922	0,406	-1,30)2	Very Well Sorted
SKEWNESS ($\frac{(k)}{(k)} = 0$	119	-0,415	0,338	1,783	-1,78	33	Very Coarse Skewed
KURTOSIS	(<i>K</i>): 1,:	299	1,189	1,207	0,824	0,82	24	Platykurtic



SAMPLE STATISTICS

T & DATE: CES-CEBTP 5/7/2013

SAMPLE STATISTICS										
	SAMPLE IDENTITY	: Fond E	Boulet (C	ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013					
ĺ	SAMPLE TYPE	E: Polymo	odal, Po	orly Sorted	TE	XTURAL GI	ROUP: Gravel			
	SEDIMENT NAME	E: Very C	oarse G	Gravel						
	1	μm	ф			GRAIN S	IZE DISTRIBU			
	MODE 1: 8	35000,0	-6,40	7	G	RAVEL: 85,4	4% COAR	SE SAND: 5,8%		
	MODE 2: 4	45000,0	-5,48	3		SAND: 14,6	6% MEDI	UM SAND: 1,7%		
	MODE 3: 1	18000,0	-4,16	1		MUD: 0,09	% FI	INE SAND: 0,1%		
	D ₁₀ :	1246,7	-6,44	8			V FI	INE SAND: 0,0%		
	MEDIAN or D ₅₀ : 2	27612,1	-4,78	7	V COARSE G	RAVEL: 47,2	2% V COA	RSE SILT: 0,0%		
	D ₉₀ : 8	37306,2	-0,31	8	COARSE G	RAVEL: 16,4	4% COA	COARSE SILT: 0,0%		
	(D ₉₀ / D ₁₀):	70,03 0,049		9	MEDIUM GRAVEL: 7,9% MEDIUM S			DIUM SILT: 0,0%		
	(D ₉₀ - D ₁₀): 8	D ₁₀): 86059,6 6,130			FINE GRAVEL: 7,9% FINE SIL			FINE SILT: 0,0%		
	(D ₇₅ / D ₂₅):	10,30	0,43	3	V FINE GRAVEL: 5,9% V FINE SILT:			FINE SILT: 0,0%		
	$(D_{75} - D_{25})$: 55006,2 3,364				V COARSE SAND: 7,0% CLAY:			CLAY: 0,0%		
			METH	OD OF MON	IENTS		FOLK & WAR	D METHOD		
		Arith	metic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description		
		μ	.m	μm	¢	<u>μm</u>	<u> </u>			
	MEAN (x	;) 285	98,4	6791,7	-3,556	17306,2	-4,113	Coarse Gravel		
	SORTING (a	s): 277	96,9	19,64	2,357	3,846	1,943	Poorly Sorted		
	SKEWNESS (Sk); 0,7	716	-1,959	0,516	-0,857	0,857	Very Fine Skewed		
	KURTOSIS (K	() 2,2	207	6,282	1,850	0,541	0,541	Very Platykurtic		


SAMPLE STATISTICS											
SAMPLE IDENT	SAMPLE IDENTITY: Bellemare A ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013										
SAMPLE TY SEDIMENT NA	odal, Po oarse G	orly Sorted ravel	TE	XTURAL	. GRC	OUP: Gravel					
	,	, m	ሐ			GRAII	N SIZ	E DISTRIBU	TION		
	85	<u></u>	-6 407		G	RAVEL:	85.4%	COAR	SE SAND: 5,6%		
	000 AE	000,0	-5,491	2	0	SAND	14.6%	MEDI	JM SAND: 1,7%		
	40	000,0	-0,400 1 184	1		MUD: 0	0.0%	FI	NE SAND: 0,2%		
MODE 3:	MODE 3: 18000,0 -4,161			1 D	V FINE SAND: 0.0%						
D ₁₀ :	0: 1259,0 -6,448		כ ד	V COARSE GRAVEL 47.2% V COARSE SILT: 0.0%			RSF SILT: 0.0%				
MEDIAN or D ₅₀ :	2/0	512,1	-4,78				16 / 0/		RSE SILT: 0.0%		
D ₉₀ :	87	306,2	-0,332	2	COARSE G		10,4% 7 00/				
(D ₉₀ / D ₁₀):	6	9,35	0,052	2							
(D ₉₀ - D ₁₀):	86	047,2	6,116	3	FINE GRAVEL: 7,9% FINE SILT: 0,0%				-INE SILI. 0,0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	1	0,30	0,433	3	V FINE GRAVEL: 6,0% V FINE SILT: 0,0%				-INE SILT: 0,0%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	55	006,2	3,364	ŀ	V COARSE	SAND:	7,1%		CLAY: 0,0%		
			METH	od of Mon	IENTS		F	OLK & WAR	D METHOD		
		Arith	metic	Geometric	Logarithmic	Geome	tric L	.ogarithmic	Description		
		u	m	μm	φ	μm		<u></u>			
MFAN	(\overline{x}) :	285	99,8	6790,5	-3,556	17337	,1	-4,116	Coarse Gravel		
SORTING	(₍))	277	95.5	19,66	2,359	3,828	3	1,936	Poorly Sorted		
SKEW/NESS	(Sk)	07	716	-1.959	0.522	-0,85	8	0,858	Very Fine Skewed		
KURTOSIS	(K):	2,2	207	6,277	1,872	0,537	7	0,537	Very Platykurtic		



SAMPLE IDENTITY: Bellemare B

SAMPLE TYPE: Trimodal, Very Well Sorted SEDIMENT NAME: Very Coarse Gravel

	μm	φ
MODE 1:	85000,0	-6,407
MODE 2:	45000,0	-5,483
MODE 3:	18000,0	-4,161
D ₁₀ :	19265,4	-6,587
MEDIAN or D ₅₀ :	52912,8	-5,726
D ₉₀ :	96167,9	-4,268
(D ₉₀ / D ₁₀):	4,992	0,648
(D ₉₀ - D ₁₀):	76902,5	2,320
(D ₇₅ / D ₂₅):	2,360	0,805
(D75 - D75);	46772 1	1 2 3 9

CLAY: 0,0% V COARSE SAND: 0,0% FOLK & WARD METHOD METHOD OF MOMENTS Description Geometric Logarithmic Geometric Logarithmic Arithmetic μm ф μm ф μm Very Coarse Gravel 49060,6 -4,718 -5,616 43212,7 10489,7 MEAN (\overline{x}) : Very Well Sorted 1,148 0,199 27006,5 39,03 1,990 SORTING (o): Very Coarse Skewed 1,408 -1,408 -0,027 -2,077 1,625 SKEWNESS (Sk): Very Platykurtic -0,544 -0,544 KURTOSIS (K): 1,943 5,462 4,335



ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013

GRAIN SIZE DISTRIBUTION

COARSE SAND: 0,0%

MEDIUM SAND: 0,0%

FINE SAND: 0,0%

V FINE SAND: 0,0% V COARSE SILT: 0,0%

COARSE SILT: 0,0%

MEDIUM SILT: 0,0%

FINE SILT: 0,0%

V FINE SILT: 0,0%

TEXTURAL GROUP: Gravel

GRAVEL: 100,0%

SAND: 0,0%

MUD: 0,0%

V COARSE GRAVEL: 79,0%

COARSE GRAVEL: 18,2%

MEDIUM GRAVEL: 2,4%

FINE GRAVEL: 0,4%

V FINE GRAVEL: 0,0%

SAMPLE STATISTICS												
	SAMPLE IDENTITY: Bellemare C ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013											
	Trimedel Dee	rly Sortod	TE	XTURAL GR	OUP: Gravel							
SAMPLE TYPE:	Trimodal, Pou	Travel	1 -									
SEDIMENT NAME:	Very Coarse C											
	μm <u>φ</u>			GRAIN SIZ	ZE DISTRIBU							
MODE 1: 85	000,0 -6,40	7	GF	RAVEL: 84,9	% COAR	SE SAND: 0,4%						
MODE 2: 45	000,0 -5,48	3		SAND: 15,19	% MEDI	JM SAND: 2,2%						
MODE 3. 18	000.0 -4,16	1		MUD: 0,0%	5 Fl	NE SAND: 0,2%						
D ₄₀ 1 11	37.8 -6.44	8			V FI	NE SAND: 0,0%						
MEDIAN or Droil 27	674.9 -4.79)1 '	V COARSE GI	RAVEL: 47,2	% V COA	RSE SILT: 0,0%						
	316.5 -0.18	16	COARSE GI	RAVEL: 16,4	% COA	RSE SILT: 0,0%						
	674 0.02	9	MEDIUM GI	RAVEL: 7,9%	6 MEC	DIUM SILT: 0,0%						
	1787 626	2	FINE G	RAVEL: 7,8%	6 1	FINE SILT: 0,0%						
$(D_{90} - D_{10}) = 00$	0.28 0.43	-	V FINE G	RAVEL: 5,5%	6 VI	FINE SILT: 0,0%						
(D_{75}, D_{25}) .	0,00 4 0,70	~~ ~	VCOARSE	SAND: 6,4%	6	CLAY: 0,0%						
(D ₇₅ - D ₂₅). 50	000,1 3,37	0	100/1102									
			IENTS		FOLK & WAR	D METHOD						
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description						
		um	d d	μm	φ							
MEAN (T)	28587.7	6674.1	-3,531	17000,6	-4,088	Coarse Gravel						
	278267	19.87	2,393	3,987	1,995	Poorly Sorted						
	0.713	-1 928	0.531	-0,857	0,857	Very Fine Skewed						
KURTOSIS (K)	2.203	6,151	1,865	0,564	0,564	Very Platykurtic						



SAMPLE STATISTICS											
SAMPLE IDENT	ITY:	Fond Ber	nier		ļ	ANALYST & DA	ATE: CES-C	EBTP, 5/	7/2013		
SAMPLE TY	ΈE:	Polymoda	, Very Poorly	y Sorted	TE	EXTURAL GRO	OUP: Grave	ł			
SEDIMENT NA	ME:	Very Coar	se Gravel			·					
	1	um	φ			GRAIN SIZ	E DISTRIBL				
MODE 1:	85	- 0,000	5,407		G	RAVEL: 83,8%	6 COAF	RSE SANI	D: 6,9%		
MODE 2:	DDE 2: 45000,0 -5,483 SAND: 16,2% MEDIUM SAND: 2,2%										
MODE 3:	DE 3: 18000,0 -4,161 MUD: 0,0% FINE SAND: 0,1%										
D ₁₀ :	D ₁₀ 1074,6 -6,444 V FINE SAND: 0,0%										
MEDIAN or D ₅₀ :	DIAN or D ₅₀ : 26087,9 -4,705 V COARSE GRAVEL: 46,3% V COARSE SILT: 0,0%										
D ₉₀ :	D ₉₀ : 87049,5 -0,104 COARSE GRAVEL: 16,1% COARSE SILT: 0,0%										
(D ₉₀ / D ₁₀):	8	1,00 (),016	M	edium g	RAVEL: 7,8%	ME	DIUM SIL	T: 0,0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	85	974,9 6	5,340		FINE G	RAVEL: 7,8%		FINE SIL	T: 0,0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	1	1,56 (),402	١	/ FINE G	RAVEL: 5,8%	V	FINE SIL	T: 0,0%		
(D ₇₅ - D ₂₅): 54853,7 3,531 V COARSE SAND: 7,0% CLAY: 0,0%											
	ĺ	M	THOD OF		s	F	OLK & WAF		OD		
		Arithme	tic Geome	tric Loa	- arithmic	Geometric L	ogarithmic	De	scription		
		um	um		¢	μm	φ φ				
MEAN	(\overline{x})	28055	5 6485	2 -	3,474	15894,1	-3,990	Medi	um Gravel		
SORTING	(0).	27792,	9 19,4	3 2	2,406	4,158	2,056	Very P	oorly Sorted		
SKEWNESS ((Sk)	0,742	-1,90	6 (,481	-0,814	0,814	Very F	ine Skewed		
KURTOSIS	(K)	2,241	6,13	7 1	,791	0,552	0,552	Very	Platykurtic		
				<u>GRAIN -</u>			<u>18</u>				
5,0		3,0	1,0	Pa)	rticle Dia -1,0	meter (φ) -3,0		-5,0	-7,0		
20.0									П		
20,0 -											



I	SAMPLE STATISTICS											
	SAMPLE IDENTITY: Fond Lahaye A ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013											
	SAMPLE TY	PE:	Polymo	odal, Ve	ery Poorly So	rted TE	XTURAL G	ROUP: Gravel				
	SEDIMENT NAM	NE:	Very C	oarse (Gravel							
	GRAIN SIZE DISTRIBUTION											
		850	000.0	-6.40		G	RAVEL: 83,2	2% COAF	RSE SAND: 7,1%			
1	MODE 2	450	000,0	-5.48	3	-	SAND: 16,8	B% MEDI	UM SAND: 2,4%			
	MODE 2:	18	0.000	-4.16	-		MUD: 0,0	% F	INE SAND: 0,2%			
	Deci	10	24.3	-6.44	2			VF	INE SAND: 0,0%			
	MEDIAN or D ₅₀ :	25	502.1	-4.67	3	V COARSE G	RAVEL: 45,	9% V COA	RSE SILT: 0,0%			
	Doo:1	869	947.0	-0.03	5	COARSE G	RAVEL: 16,0	0% COA	RSE SILT: 0,0%			
	(D_{00} / D_{10})	8	4.88	0,00	5	MEDIUM G	RAVEL: 7,7	% MEI	DIUM SILT: 0,0%			
	$(D_{90} - D_{10})$;	85	922.7	6,40	7	FINE G	RAVEL: 7,7	%	FINE SILT: 0,0%			
	(D ₇₅ / D ₂₅):	1:	2.10	0.39	0	V FINE GRAVEL: 5,9% V FINE SILT: 0,0						
	(D ₇₅ - D ₂₅):	54	771,0	3,59	7	V COARSE	SAND: 7,1	%	CLAY: 0,0%			
	(10 20/1		,	•								
	u -			METH	IOD OF MON	MENTS		FOLK & WAF	ND METHOD			
			Arith	metic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description			
			μ	m	μm	<u> </u>	μm	φ				
1	MEAN	(\overline{x}) :	278	45,0	6366,3	-3,441	15392,0	-3,944	Medium Gravel			
	SORTING (o): 27787,7		19,37	2,427	4,269	2,094	Very Poorly Sorted					
	SKEWNESS (&	Sk):	0,7	752	-1,884	0,473	-0,799	0,799	Very Fine Skewed			
		1 1 1 1		EE	6 076	4 700	0 662	0 552	Very Platykurtic			



SAMPLE IDENTITY: Fond Lahaye B

SAMPLE TYPE: Trimodal, Poorly Sorted SEDIMENT NAME: Very Coarse Gravel

EDIMENT NAME: Very Coarse Gravel μm φ MODE 1: 85000,0 -6,407 MODE 2: 45000,0 -5,483 MODE 3: 18000,0 -4,161

D₁₀: 1316,9 -6,455 -4,930 MEDIAN or D₅₀: 30494,3 -0,397 87759,8 D₉₀: 0,062 66,64 (D₉₀ / D₁₀): 6,058 (D₉₀ - D₁₀): 86443,0 0,465 (D₇₅ / D₂₅): 9.132 3,191 55649.0 (D₇₅ - D₂₅):

FOLK & WARD METHOD METHOD OF MOMENTS Description Geometric Logarithmic Geometric Logarithmic Arithmetic μm ф μm μm -4,227 Coarse Gravel 18721,8 29423,4 6986,7 -3,626 MEAN (\overline{x}) : Poorly Sorted 3,668 1,875 2,350 20,49 27924,2 SORTING (o): Very Fine Skewed 0,947 -1,970 -0,947 0,567 SKEWNESS (Sk): 0,667 Very Platykurtic 0,548 0,548 1,900 KURTOSIS (K): 2,140 6,223



ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013

GRAIN SIZE DISTRIBUTION

COARSE SAND: 5,6%

MEDIUM SAND: 1,6%

FINE SAND: 0,0%

V FINE SAND: 0,0%

COARSE SILT: 0,0%

MEDIUM SILT: 0,0%

FINE SILT: 0,0%

CLAY: 0,0%

V FINE SILT: 0,0%

V COARSE SILT: 0,0%

TEXTURAL GROUP: Gravel

GRAVEL: 86,3%

V COARSE GRAVEL: 48,9%

COARSE GRAVEL: 16,7%

MEDIUM GRAVEL: 7,7%

FINE GRAVEL: 7,5%

V FINE GRAVEL: 5,5%

V COARSE SAND: 6,5%

SAND: 13,7%

MUD: 0,0%

SAMPLE STATISTICS											
SAMPLE IDENTI	SAMPLE IDENTITY: Fond Lahaye C ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013										
SAMPLE TYPE: Polymodal, Very Poorly Sorted TEXTURAL GROUP: Gravel											
SEDIMENT NAME: Very Coarse Gravel											
	<u>μ</u>		Ψ					SE SAND 6.8%			
MODE 1:	850	00,0	-0,407		G	NAVEL. 04,0					
MODE 2:	450	00,0	-5,483			SAND: 16,0		UNISAND. 2,1%			
MODE 3:	180	0,00	-4,161			MUD: 0,0%	6 FI	NE SAND: 0,1%			
D ₁₀ :	109	99,2	-6,446				V FI	NE SAND: 0,0%			
MEDIAN or D ₅₀ :	268	26,6	-4,746		V COARSE G	RAVEL: 46,7	'% V COA	RSE SILT: 0,0%			
D _{on} :	871	82,9	-0,136		COARSE GRAVEL: 16,1%			RSE SILT: 0,0%			
(D_{oo}/D_{oo})	79	32	.0.021		MEDIUM G	RAVEL: 7.79	6 MED	010M SILT: 0,0%			
(D_{90}, D_{10})	860	183 7	6 310		FINE G	RAVEL 7.79	6 I	FINE SILT: 0,0%			
$(D_{90} - D_{10})$	44	00,1	0,010		V FINE GRAVEL: 5.8% V FINE SILT: 0.0%						
$(D_{75} / D_{25}).$	11	,28	0,409				~0 VI				
(D ₇₅ - D ₂₅):	551	38,2	3,495		V COARSE	: SAND: 7,07	'0	ULAT. 0,070			
	I				AFNTO						
			MEINC					Description			
		Arithm	netic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description			
		µn	<u>1</u>	<u>μm</u>	<u> </u>	μm	φ				
MEAN (MEAN (x): 28272,6		6537,4	-3,493	16239,7	-4,021	Coarse Gravel				
SORTING (σ): 27840,7		19,65	2,402	4,100	2,036	Very Poorly Sorted					
SKEWNESS (S	SKEWNESS (<i>Sk</i>): 0,728		-1,910	0,491	-0,838	0,838	Very Fine Skewed				
KURTOSIS (K):	2,21	19	6,129	1,801	0,549	0,549	Very Platykurtic			



SAMPLE TYPE: Polymodal, Poorly Sorted SEDIMENT NAME: Very Coarse Gravel					TE	EXTURAL G	ROUP: Grave		
l. I	L	um	ф			GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	850	000,0	-6,40	7	G	RAVEL: 86,	0% COA	RSE SAND: 5,6%	
MODE 2:	450	000,0	-5,48	3		SAND: 14,	0% MED	IUM SAND: 1,6%	
MODE 3:	180	0,000	-4,16	1		MUD: 0,0	% F	INE SAND: 0,1%	
D ₁₀ :	13	02,6	-6,45	2			VF	FINE SAND: 0,0%	
MEDIAN or D ₅₀ :	290	026,9	-4,85	9	V COARSE G	RAVEL: 48,	0% V CO	ARSE SILT: 0,0%	
D ₉₀ :	875	532,7	-0,38	1	COARSE G	RAVEL: 16,	7% CO	ARSE SILT: 0,0%	
(D ₉₀ / D ₁₀):	67	7,20	0,05	9	MEDIUM G	RAVEL: 7,9	% ME	DIUM SILT: 0,0%	
(D ₉₀ - D ₁₀):	862	230,1	6,07	0	FINE G	RAVEL: 7,7	%	FINE SILT: 0,0%	
(D ₇₅ / D ₂₅):	9,	530	0,45	3	V FINE G	RAVEL: 5,7	% V	FINE SILT: 0,0%	
(D ₇₅ - D ₂₅):	552	228,8	3,25	3	V COARSE	E SAND: 6,7	%	CLAY: 0,0%	
	ĺ		METH	OD OF MOI	MENTS		FOLK & WAI	RD METHOD	
		Arithn	netic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description	
	- i	μr	n	μm	¢	μm	φ		
MEAN	(\overline{x})	2904	4,6	6933,4	-3,600	18134,5	-4,181	Coarse Gravel	
SORTING	(σ):	2783	35,8	20,03	2,347	3,726	1,897	Poorly Sorted	
SKEWNESS ((Sk):	0,6	91	-1,973	0,548	-0,901	0,901	Very Fine Skewed	
KURTOSIS	(K):	2,1	75	6,280	1,889	0,545	0,545	Very Platykurtic	



ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013

SAMPLE IDENTITY: Fond Lahaye D

	SAMPLE STATISTICS											
SAMPLE IDENTITY	Y: Fond Lah	aye E	A	NALYST & I	DATE: CES-0	CEBTP, 5/7/2013						
SAMPLE TYPE	E: Bimodal, N	Aoderately Well S	Sorted TE	XTURAL GF	OUP: Grave	1						
SEDIMENT NAME: Very Coarse Gravel												
μm φ GRAIN SIZE DISTRIBUTION												
MODE 1: 8	85000,0 -0	<u> </u>	G	RAVEL: 96,0	% COA	RSE SAND: 1,6%						
MODE 2:	18000,0 -4	4,161		SAND: 4,0%	6 MED	IUM SAND: 0,5%						
MODE 3:	-			MUD: 0,0%	6 F	TINE SAND: 0,0%						
D ₁₀ :	9080,4 -6	6,840			VF	TINE SAND: 0,0%						
MEDIAN or D ₅₀ :	56650,3 -	5,824	V COARSE G	RAVEL: 72,5	i% V CO/	ARSE SILT: 0,0%						
D ₉₀ : 1	14529,8 -	3,183	COARSE G	RAVEL: 13,7	'% CO/	ARSE SILT: 0,0%						
(D ₉₀ / D ₁₀):	12,61 0	,465	MEDIUM G	RAVEL: 4,7%	6 ME	DIUM SILT: 0,0%						
(D ₉₀ - D ₁₀): 1	05449,4 3	8,657	FINE G	RAVEL: 3,4%	6	FINE SILT: 0,0%						
(D ₇₅ / D ₂₅):	3,064 0),747	V FINE G	RAVEL: 1,8%	6 V	FINE SILT: 0,0%						
(D ₇₅ - D ₂₅):	56777,9 1	,616	V COARSE	SAND: 1,9%	6	CLAY: 0,0%						
	M	ETHOD OF MOM	IENTS		FOLK & WAF							
	Arithmet	ic Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description						
	μm	_ <u>μm</u>	φ	µm	φ							
MEAN (x	5): 39719,0	6138,6	-4,218	44246,8	-5,468	Very Coarse Gravel						
SORTING (o	r): 30827,	5 51,98	2,369	1,579	0,659	Moderately Well Sorted						
SKEWNESS (Sk	:): 0,112	-1,612	0,948	-9,182	9,182	Very Fine Skewed						
KURTOSIS (K): 1,580	3,887	2,338	0,114	0,114	very Platykurtic						



SAMPLE IDENTITY: Lido

SAMPLE TYPE: Polymodal, Poorly Sorted SEDIMENT NAME: Very Coarse Gravel

ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013

0,889

Very Fine Skewed

TEXTURAL GROUP: Gravel

	L	ເຫ	φ			GRAIN S	SIZE DISTRIBU	<u> [ION</u>
MODE 1:	850	0,000	-6,40	7	G	RAVEL: 86,	5% COARS	SE SAND: 5,0%
MODE 2:	450	0.00	-5,48	3		SAND: 13,	5% MEDIL	IM SAND: 1,3%
MODE 3:	180	0.00	-4,16	1		MUD: 0,0	% FI}	NE SAND: 0,1%
D10:	13	94.9	-6.45	1			V FII	NE SAND: 0,0%
MEDIAN or D ₅₀ :	286	\$34.0	-4,84	0	V COARSE G	RAVEL: 47,	8% V COAF	RSE SILT: 0,0%
D _{oo} :	874	170.9	-0.48	0	COARSE G	RAVEL: 16,	6% COAF	RSE SILT: 0,0%
$(D_{00} / D_{10});$	62	2.71	0.07	4	MEDIUM G	RAVEL: 8,1	% MED	UM SILT: 0,0%
$(D_{00} - D_{10})$	860	076.0	5.97	1	FINE G	RAVEL: 8,1	% F	INE SILT: 0,0%
(D_{75} / D_{10})	9	562	0.45	2	V FINE G	RAVEL: 6,0	% VF	INE SILT: 0,0%
$(D_{15} - D_{25})$	55(158 A	3 25	7	V COARSE	SAND: 7,1	%	CLAY: 0,0%
	000	,00,0	0,20	•	•			
	1		метн		MENTS		FOLK & WARI) METHOD
		Arithr	netic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
		u	n	μm	φ	μm	φ	
MEAN	(\overline{x})	2896	30,8	7021,2	-3,614	18319,2	-4,195	Coarse Gravel
SORTING	(σ):	2779	90,2	19,74	2,316	3,637	1,863	Poorly Sorted
	1011					· ·	_	



SAMPLE STATISTICS											
SAMPLE IDENTI	SAMPLE IDENTITY: Anse Madame A ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013										
SAMPI F TY	PE	Trimod	al, Poor	ly Sorted	TE	XTURAL GR	OUP: Gravel	1			
SEDIMENT NAM	ME: Y	Very Co	oarse G	ravel							
		Im	ሐ			GRAIN SI	ZE DISTRIBL				
MODE 1	<u> </u>	<u>,000 0</u>	- <u>-</u> 6.407	, · ·	G	RAVEL: 88,5	% COAF	RSE SAND: 4,2%			
	<u>7</u> 22	100 N	-5.483	1	-	SAND: 11,5	% MEDI	UM SAND: 1,1%			
MODE 2	181	000 0	-4,161	-		MUD: 0,0%	6 F	INE SAND: 0,1%			
	16	47.9	-6.458	}		•	VF	INE SAND: 0,0%			
	314	575.3	-4.981	- 1	V COARSE GI	RAVEL: 49,5	% V COA	\RSE SILT: 0,0%			
	870)25.4	-0.721	1	COARSE G	RAVEL: 17,2	2% COA	\RSE SILT: 0,0%			
	5:	3.36	0.112		MEDIUM G	RAVEL: 8,3%	% MEL	DIUM SILT: 0,0%			
(D ₂₀ - D ₁₀).	86	277.5	5,738	1	FINE GRAVEL: 7,9% FINE SILT: 0,			FINE SILT: 0,0%			
(D ₇₄ / D ₇₇)	7	857	0.503	Ļ	V FINE G	RAVEL: 5,5%	% V	FINE SILT: 0,0%			
(D_{75}, D_{25}) $(D_{75} - D_{55})$	550)47.2	2.974		V COARSE	SAND: 6,19	%	CLAY: 0,0%			
	1 30		_,								
	I		METH		IENTS		FOLK & WAF	RD METHOD			
		Arith	metic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description			
1		u	m	μm		μm	φ				
MEAN	(<u>x</u>):	299	<u>39,1</u>	7413,0	-3,722	20771,5	-4,377	Coarse Gravel			
SORTING	(o):	278	11,3	20,49	2,279	3,316	1,730	Poorly Sorted			
SKEWNESS ('Sk):	0,6	352	-2,045	0,618	-0,977	0,977	Very Fine Skewed			
KURTOSIS	(K):	2,1	129	6,456	2,023	0,545	0,545	Very Platykurtic			



SAMPLE TY	Trimoda	al, Poo	rly Sorted	TE	EXTURAL GI	ROUP: Gravel			
SEDIMENT NA	ME: \	Very Co	oarse G	Gravel					
1	п	ım	φ		GRAIN SIZE DISTRIBUTION				
MODE 1:	850	000.0	-6,40	7	G	RAVEL: 86,2	2% COAF	RSE SAND: 5,8%	
MODE 2:	450	0.00	-5,48	3		SAND: 13,8	8% MEDI	IUM SAND: 1,8%	
MODE 3:	180	0.000	-4,16	1		MUD: 0,09	% F	INE SAND: 0,0%	
D ₁₀ :	12	87,1	-6,45	6			VF	INE SAND: 0,0%	
MEDIAN or D ₅₀ :	306	336,0	-4,93	7	V COARSE G	RAVEL: 49,0	0% V COA	ARSE SILT: 0,0%	
D ₉₀ :	877	780,5	-0,36	4	COARSE G	RAVEL: 16,	7% COA	ARSE SILT: 0,0%	
(D ₉₀ / D ₁₀):	68	3,20	0,056	3	MEDIUM G	RAVEL: 7,7	% MEI	DIUM SILT: 0,0%	
(D ₉₀ - D ₁₀):	864	193,4	6,092	2	FINE G	RAVEL: 7,5	%	FINE SILT: 0,0%	
(D ₇₅ / D ₂₅):	9,	108	0,466	3	V FINE G	RAVEL: 5,4	% V	FINE SILT: 0,0%	
(D ₇₅ - D ₂₅):	556	695,1	3,18	7	V COARSE	E SAND: 6,1	%	CLAY: 0,0%	
	1								
			METH	od of Mon	IENTS		FOLK & WAP		
		Arithn	netic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description	
		μr	n	μm	¢	μm	φ		
MEAN	(\overline{x}) :	2945	5,4	6961,2	-3,622	18739,7	-4,228	Coarse Gravel	
SORTING	(σ):	2793	86,6	20,59	2,360	3,704	1,889	Poorly Sorted	
SKEWNESS ($\frac{1}{Sk}$	0,6	64	-1,962	0,574	-0,947	0,947	Very Fine Skewed	
KURTOSIS	(K):	2,1	36	6,184	1,907	0,560	0,560	Very Platykurtic	



SAMPLE IDENTITY: Anse Madame B

ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013

SAMPLE STATISTICS											
SAMPLE IDENTITY	: Embouchure	A	A	NALYST & D	ATE: CES-C	EBTP, 5/7/2013					
SAMPLE TYPE	- Polymodal, Po	orly Sorted	ТЕ	XTURAL GR	OUP: Gravel						
SEDIMENT NAME	: Very Coarse (Gravel									
						TION					
	_µm			GRAIN SI							
MODE 1: 8	35000,0 -6,40	17	G	RAVEL: 88,9	% COAR	SE SAND: 3,3%					
MODE 2: 4	5000,0 -5,48	3		SAND: 11,1	% MEDI	UM SAND: 0,3%					
MODE 3: 1	8000,0 -4,16	51		MUD: 0,0%	5 Fl	NE SAND: 0,0%					
D ₁₀ :	1766,6 -6,45	57			V FI	NE SAND: 0,0%					
MEDIAN or D ₅₀ : 3	81003,1 -4,95	54	V COARSE G	RAVEL: 49,2	% V COA	RSE SILT: 0,0%					
D ₉₀ ; 8	37832,2 -0,82	21	COARSE G	RAVEL: 17,1	% COA	RSE SILT: 0,0%					
(D_{90} / D_{10})	49,72 0,12	7	MEDIUM G	RAVEL: 8,2%	6 MEC	01UM SILT: 0,0%					
$(D_{90} - D_{10})$: 8	86065,7 5,63	6	FINE G	RAVEL: 8,2%	, I	FINE SILT: 0,0%					
(D_{75} / D_{25}) :	8.194 0.49	2	V FINE GRAVEL: 6,2% V FINE SILT: 0,			FINE SILT: 0,0%					
$(D_{75} - D_{25})$; 5	5088.2 3.03	5	V COARSE	SAND: 7,4%	, 0	CLAY: 0,0%					
		-									
	І метн		IENTS	I	FOLK & WAR	D METHOD					
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description					
	μm	um	б ф	μm	ф						
MEAN (x	MEAN (\bar{x}) 29770.8 7538			20515,5	-4,359	Coarse Gravel					
SORTING (m) 27771.9	19,96	2,221	3,260	1,705	Poorly Sorted					
SKEWNESS (Sk)): 0.664	-2,089	0,555	-0,973	0,973	Very Fine Skewed					
KURTOSIS (K) 2.143	6.671	1,908	0,507	0,507	Very Platykurtic					



				<u>SAM</u>	PLE STATIS	ST <u>ICS</u>			
SAMPLE IDENTITY: Embouchure B ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013						EBTP, 5/7/2013			
SAMPLE TY	PE:	Trimodal,	Poorly	Sorted	TE	XTURAL GF	ROUP: Gravel		
SEDIMENT NAI	ME:	Very Coa	rse Gra	avel					
	l	ստ	ф			GRAIN SI	ZE DISTRIBU		
MODE 1:	850	000,0 -	6,407		G	RAVEL: 87,8	% COAR	SE SAND: 4,3%	
MODE 2:	450	000,0 -	5,483			SAND: 12,2	% MEDI	UM SAND: 0,9%	
MODE 3:	180	000,0 -	4,161			MUD: 0,0%	6 Fl	NE SAND: 0,0%	
D ₁₀ :	15	55,3 -	6,461				V FI	NE SAND: 0,0%	
MEDIAN or D ₅₀ :	32 ⁻	107,8 -	5,005		V COARSE G	RAVEL: 50,1	% V COA	RSE SILT: 0,0%	
D ₉₀ :	880	88070,5 -0,6			COARSE G	RAVEL: 16,4	VEL: 16,4% COARSE SILT: 0,		
(D ₉₀ / D ₁₀):	56	56,63 0,		3 0,099		MEDIUM GRAVEL: 7,8% MEDIUM SILT		01UM SILT: 0,0%	
(D ₉₀ - D ₁₀):	86	515,2	5,823		FINE G	RAVEL: 7,7%	6 F	FINE SILT: 0,0%	
(D ₇₅ / D ₂₅):	8,	450	0,486		V FINE G	RAVEL: 5,8%	6 VI	FINE SILT: 0,0%	
(D ₇₅ - D ₂₅):	0 ₂₅): 56077,8 3,0		3,079	V COARSE		E SAND: 6,9%		CLAY: 0,0%	
	1		ETUO						
		M	ETHO		IENIS		FOLK & WAR	Description	
		Arithme	etic G	Seometric	Logarithmic	Geometric	Loganumic	Description	
MEAN	(=).		2	μm 7274.0	φ 2 704	$-\mu m$	Ψ	Coarse Gravel	
	(~). /_\.	29990 27005	ים ס	7∠74,0 20.80	-3,704	20110,0	1 758	Poorly Sorted	
SUKTING	(O). C/-).	21990, 0637	ے ب	20,00 	2,282		1,700	Very Fine Skewed	
KURTOSIS ((K):	2,097	,	6,352	1,921	0,516	0,516	Very Platykurtic	



				SAM	PLE STATIS	TICS		
SAMPLE IDENTITY: Embouchure C ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013								
	יםכ	Frimoda	Door	ly Sorted	TE	XTURAL GR	OUP: Gravel	
	- E. I // Er \		a, i uui orea G	ravel				
SEDIMENT NAM	и с . 1	very 00						
	μ	m	ф			GRAIN SI	ZE DISTRIBU	
MODE 1:	850	00,0	-6,40	7	G	RAVEL: 92,5	% COAR	SE SAND: 2,2%
MODE 2:	450	00,0	-5,48	3		SAND: 7,5%	6 MEDI	UM SAND: 0,4%
MODE 3	180	0.00	-4,16	1		MUD: 0,0%	6 FI	NE SAND: 0,1%
	274	48.2	-6.46	3			V FI	NE SAND: 0,0%
MEDIAN or Droit	338	40.4	-5.08	1	V COARSE G	RAVEL: 52,1	% V COA	RSE SILT: 0,0%
	885	· · · · , · ·	-1 45	3	COARSE G	RAVEL: 18,1	% COA	RSE SILT: 0,0%
	30	20,1	0 22	5	MEDIUM G	RAVEL: 8,6%	6 MED	DIUM SILT: 0,0%
	857	700	5 010	,)	FINE G	RAVEL: 8,2%	6	FINE SILT: 0,0%
$(D_{90} - D_{10})$	6	10,0 000	0,510	,)	V FINE G	RAVEL: 5.5%	6 V	FINE SILT: 0,0%
(D_{75}, D_{25})	0,' 544		2,570	,	VCOARSE	SAND: 4.89	6	CLAY: 0,0%
(D ₇₅ - D ₂₅).	544	104,0	2,090)	V 00/110E			
	1		метн		IENTS		FOLK & WAR	D METHOD
		∆rithn	netic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
			n	um	d d	μm	φ	
MEAN	$(\overline{\mathbf{x}})$	<u></u> 3139	95.9	8241.1	-3.917	24242,9	-4,599	Coarse Gravel
SORTING	(~)·	2772	28.1	21.22	2.152	2,786	1,478	Poorly Sorted
	(U)- CL-1-	0.5	90 90	-2 160	0.714	-1,115	1,115	Very Fine Skewed
KURTOSIS ((K):	2,0	65	6,756	2,231	0,503	0,503	Very Platykurtic

ч





	·			SAMI	PLE STATIS	TICS		
SAMPI		LA. Bia de (du Bour	α B	Α	NALYST & DA	TE: CES-C	EBTP, 5/7/2013
S/		PE' Trimod	al. Poorl	v Sorted	TE	XTURAL GRO	UP: Gravel	
SEDI	MENT NAM	/IE: Very C	oarse Gr	avel				
	1			•		GRAIN SIZE	- DISTRIBL	JTION
·		<u>μm</u> 85000.0	$\frac{-9}{-6407}$		G	RAVEL: 85.6%	COAF	RSE SAND: 6,0%
	MODE 1.	45000.0	-5.483		-	SAND: 14,4%	MEDI	UM SAND: 2,1%
	MODE 3:	18000,0	-4,161			MUD: 0,0%	F	INE SAND: 0,2%
1	D ₁₀ :	1199,0	-6,453				VF	INE SAND: 0,0%
MEDIA	AN or D ₅₀ :	29626,3	-4,889		V COARSE G	RAVEL: 48,4%		RSE SILT: 0,0%
	D ₉₀ :	87625,6	-0,262		COARSE G	RAVEL: 16,8%		1111 SILT. 0,0%
(D ₉₀ / D ₁₀):	73,08	0,041			RAVEL. 7,9%	(VIL)	FINE SILT: 0.0%
	D ₉₀ - D ₁₀):	86426,6	0,191			RAVEL: 5.2%	v	FINE SILT: 0,0%
	D_{75} / D_{25}	9,292 553/0 8	3 2 16		V COARSE	SAND: 6,1%		CLAY: 0,0%
	D75 - D257.	00040,0	0,210					
			METHO	D OF MON	IENTS	F	OLK & WAF	RD METHOD
		Arith	metic	Geometric	Logarithmic	Geometric L	ogarithmic	Description
L		μ	<u>m</u>	<u>μm</u>		<u>μm</u>	φ	Coarse Gravel
	MEAN ((x) 291	98,0	6849,8	-3,588	3 835	-4,174	Poorly Sorted
CIVE		(o): 278 c/v) 06	02,2 370	20,44 -1 942	2,300	-0.914	0.914	Very Fine Skewed
SNE	EVVIVESS (2 URTOSIS ((K) 2.1	160	6.133	1,924	0,575	0,575	Very Platykurtic
1	(-		•		
		<u> </u>						
				GR	AIN SIZE DI	STRIBUTIO	<u>N</u>	
	5.0			<u>GR</u>	AIN SIZE DI Particle Dia -1,0	STRIBUTIO meter (ø) -3,0	N	-5,0 -7,0
	5,0	3,0	, ,	1,0	AIN SIZE DI Particle Dia -1,0	STRIBUTIO meter (¢) -3,0	N	-5,0 -7,0
2	5,0	3,0		<u>GR</u> , 1,0	AIN SIZE DI Particle Dia -1,0	STRIBUTIO meter (ø) -3,0	N	-5,0 -7,0
ght (%)	5,0 20,0 -	3,0		<u>GR</u> 1,0	AIN SIZE DI Particle Dia -1,0	STRIBUTIO meter (¢) -3,0	<u>N</u>	-5,0 -7,0
Class Weight (%)	5,0 20,0 - 15,0 -	3,0		<u>G</u> R,	AIN SIZE DI Particle Dia -1,0	STRIBUTIO meter (ø) -3,0	<u>N</u>	-5,07,0
Class Weight (%)	5,0 20,0 - 15,0 - 5,0 - 0,0	3,0		<u>GR</u> 1,0	AIN SIZE DI Particle Dia -1,0	STRIBUTIO meter (¢) 3,0		

Particle Diameter (µm)

SAMPLE IDENTITY: Madiana A

SAMPLE TYPE: Polymodal, Poorly Sorted SEDIMENT NAME: Very Coarse Gravel

ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013

TEXTURAL GROUP: Gravel

	– п	m	φ		GRAIN SIZE DISTRIBUTION				
MODE 1	850	00.0	-6.407		G	RAVEL: 85,9	0% COAR	SE SAND: 5,4%	
MODE 2	450	00.0	-5.483			SAND: 14,1	i% MEDIL	JM SAND: 1,6%	
	180	00.0	-4.161			MUD: 0,09	% FI	NE SAND: 0,1%	
Dus'	130	16 4	-6.450				V FI	NE SAND: 0,0%	
	282	46 4	-4 820		V COARSE G	RAVEL: 47,5	5% V COA	RSE SILT: 0,0%	
Dec.	874	.09.1	-0.386		COARSE G	RAVEL: 16,6	S% COA	RSE SILT: 0,0%	
(D_{12} / D_{12})	66	66 01 0			MEDIUM G	RAVEL: 8,09	% MED	IUM SILT: 0,0%	
(D_{90}, D_{10})	861	861027 6.0			FINE GRAVEL: 7.9%			FINE SILT: 0,0%	
$(D_{90} - D_{10})$					V FINE G	RAVEL: 5.99	N VI	INE SILT: 0,0%	
(D_{75}, D_{25}) .	5,0	9,655 0		3 301 V COARSE		SAND: 6.99	%	CLAY: 0,0%	
$(D_{75} - D_{25})$	000	09,Z	5,501		V COMINCE				
	1		метно		IENTS		FOLK & WAR	D METHOD	
		Arithm	netic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description	
		, and in	า	um	g 6	μm	φ		
MFAN	(\overline{x})	2881	5.4	6895.1	-3,584	17836,7	-4,157	Coarse Gravel	
SORTING		2780	1.3	19.77	2,343	3,747	1,906	Poorly Sorted	
SKEWNESS	(Sk)	0.70)6	-1,975	0,533	-0,877	0,877	Very Fine Skewed	



SAMPLE STATISTICS ANALYST & DATE: CES-CEBTP, 5/7/2013 SAMPLE IDENTITY: Madiana B **TEXTURAL GROUP: Gravel** SAMPLE TYPE: Polymodal, Very Poorly Sorted SEDIMENT NAME: Very Coarse Gravel GRAIN SIZE DISTRIBUTION ¢ μm COARSE SAND: 6,9% GRAVEL: 83,6% 85000,0 -6,407 MODE 1: SAND: 16,4% MEDIUM SAND: 2,2% -5.483 MODE 2: 45000,0 FINE SAND: 0,1% MUD: 0.0% -4,161 18000,0 MODE 3: V FINE SAND: 0,0% D₁₀: 1066,1 -6,443 V COARSE SILT: 0,0% V COARSE GRAVEL: 46,1% -4,695 MEDIAN or D₅₀: 25910,7 COARSE SILT: 0,0% COARSE GRAVEL: 16,1% -0.092 87018,8 D₉₀; MEDIUM GRAVEL: 7,8% MEDIUM SILT: 0,0% 0.014 (D₉₀ / D₁₀): 81,62 FINE GRAVEL: 7,8% FINE SILT: 0,0% 6,351 85952,6 (D₉₀ - D₁₀): V FINE SILT: 0,0% V FINE GRAVEL: 5,9% (D₇₅ / D₂₅): 11,72 0,399 CLAY: 0,0% V COARSE SAND: 7,1% (D₇₅ - D₂₅): 54830,2 3.551 FOLK & WARD METHOD METHOD OF MOMENTS Description Geometric Logarithmic Geometric Logarithmic Arithmetic μm ф φ μm μm Medium Gravel -3,979 -3,465 15768,2 6455,3 27993,3 MEAN (\overline{x}) : Very Poorly Sorted 2,064 4,182 27790,2 19,40 2,410 SORTING (o): Very Fine Skewed 0,810 -0,810 -1,901 0,478 0,745 SKEWNESS (Sk):





Annexe 4

Résultats des analyses granulométriques du CESBTP à Anse Madame – Rivière Case Navire

Rapport CESBPT 12 EC 209 du 04/12/2012

/



18, avenue des Arawaks – Châteaubœuf 97200 Fort de France Tél. : 0596 75 28 75 Fax : 0596 75 28 74 E-mail : contact@ces-cebtp-antilles.fr

CLIENT : BRGM MARTINIQUE

4 LOTISSEMENT MIRAMAR

ROUTE DE LA POINTE DES NEGRES 97200 FORT DE FRANCE

Anse Madame – Rivière Case Navire

Bourg

- SCHOELCHER -

MARTINIQUE

ESSAIS EN LABORATOIRE DES MATERIAUX

COMPTE-RENDU DE RESULTATS

CES-CEBTP Antilles	0	04/12/12	Y. GIBERT	D. ALEXIS	Première diffusion
18 av. des Arawaks - Chateauboeuf 97200 Fort de France Tel: 0596 75 28 75	indice	date	technicien	vérificateur	modications
Fax: 0596 75 28 74			12 E	C 209	



SOMMAIRE

ANN	IEXES	5
3.	PROGRAMME DES ESSAIS	4
2.	ECHANTILLONS PRELEVES	3
1.	INTRODUCTION	3

CONCEPTION ESSAIS STRUCTURES SARL	
SIRET : 408 492 544 00031	



1. INTRODUCTION

A la demande et pour le compte de :

BRGM Martinique

4 Lotissement Miramar Route de la Pointe des Nègres 97200 FORT DE FRANCE

CES-CEBTP Antilles a réalisé une série d'essais en Laboratoire des matériaux sur des échantillons de sable prélevés en bord de mer dans la zone de swatch (limite inférieure plage/eau, qui se situe dans une mince lame d'eau).

A l'embouchure de la rivière Case navire, se forme un bouchon sableux. Afin de pouvoir évacuer ce bouchon sur la plage de l'anse Madame, le client cherche à vérifier qu'au minimum le d50 du bouchon sableux est supérieur ou égal à un des échantillons de l'anse Madame.

2. ECHANTILLONS PRELEVES

Provenance des échantillons :Anse Madame / Rivière Case Navire – SCHOELCHERPrélevés par :CES CEBTP AntillesPrélevé le :29/11/2012

Caractéristiques des échantillons :

Echantillon		Profondeur		Coordonnées			
n°	Type de prélèvement	(m / TN)	Zone de prélèvement	X	Y	Ζ	
1			Au Nord de la plage	703 808,55	1 616 840,36	0,09	
2			Au centre de la plage	703 866,37	1 616 736,72	0,07	
3	Manuel	0.05	Au Sud de la plage	703 874,40	1 616 663,89	0,05	
4			A l'amont du bouchon, en rive droite	703 891,54	1 616 532,78	0,58	
5			A l'amont du bouchon, en rive gauche	703 907,62	1 616 511,61	0,69	

Remarque : Au niveau du bouchon à l'estuaire de la rivière Case Navire, les échantillons contiennent des tessons de verre émoussés.

CONCEPTION ESSAIS STRUCTURES SARL	Page $3/12$
SIRET : 408 492 544 00031	Tuge 07 12



3. PROGRAMME DES ESSAIS

Le programme des essais est le suivant :

- Analyse granulométrique suivant la norme NF P 94-056, sur des échantillons de 3 kg environ.
- Photographie d'une fraction des échantillons sur support quadrillé (maille carrée de 5 mm de côté).

Cette mission entre dans le cadre d'investigations géotechniques réduites à la réalisation d'essais sur échantillons, selon la norme NF P 94-500.

Les résultats des essais se trouvent en annexe.

CONCEPTION ESSAIS STRUCTURES SARL	
SIRET : 408 492 544 00031	



ANNEXES

CONCEPTION ESSAIS STRUCTURES SARL
SIRET : 408 492 544 00031











Echantillon 2 : Plage Anse Madame Centre





Echantillon 3 : Plage Anse Madame Sud



Echelle : 1 carreau = 5mm



CONCEPTION ESSAIS STRUCTURES SARL SIRET : 408 492 544 00031





, × .





Annexe 5

Note BRGM concernant la possibilité de rechargement de plage à partir des sédiments issus du curage de l'embouchure de la Rivière Case-navire

Note BRGM n°DAT/GIR AT/BRGM MAR/jca/ml/13-142 du 28/10/2013


Réf. : DAT/GIR AT/BRGM MAR/jca/ml/13-142

Fort-de-France, le 28 Octobre 2013

Note concernant la possibilité de rechargement de plage à partir des sédiments issus du curage de l'embouchure de la Rivière Case-navire (avenant n°1 à la convention initiale)

Rédacteur : LE ROY Maryse

Entité : BRGM Martinique

Projet : PSP12MAR25 Assistance technique à la CACEM pour la Gestion du Littoral de Schœlcher

<u>Contexte</u>

La convention concernant la phase 1 de la modélisation hydrosédimentaire de la baie de Fort-de-France a été signée entre la CACEM et le BRGM le 20 juin 2012. Cette phase 1 consiste en une assistance technique à la CACEM pour la gestion du Littoral de Schœlcher.

- Le 07 novembre 2012, la CACEM a demandé au BRGM de faire des préconisations anticipées par rapport aux résultats finaux prévus à l'origine en décembre 2013. Ces préconisations concernent la possibilité, ou non, de rechargement de la plage de l'Anse Madame avec les sédiments issus du curage du bouchon sableux situé à l'embouchure de la rivière Case-Navire. Les préconisations s'appuieront sur la note technique 101077-NT-3 de CréOcéan. Les résultats des analyses granulométriques ainsi que les préconisations ont été envoyés par courriel à la CACEM le 06 décembre 2012.
- Le 28 février 2013, la CACEM sollicite le BRGM pour la réalisation de mesures chimiques au niveau du bouchon sableux de l'embouchure de la rivière Case-Navire, afin de comparer les teneurs à celles définies par le seuil S1 de l'arrêté du 9 août 2006 et la catégorie A1 de l'arrêté du 28 octobre 2010. Cette demande a fait l'objet de l'Avenant n°1 du 13 mai 2013 à la convention initiale, qui reporte également la remise du rapport final de l'étude en avril 2014.

Les résultats des analyses chimiques ainsi que les premières préconisations ont été adressées à la CACEM par courriel le 19 août 2013.

Cette note (qui sera reprise dans le rapport final) formalise la réponse faite par courriel afin de déclencher la facturation prévue à l'Article 8.1 alinéa 4.

Analyses Granulométriques

 Les analyses granulométriques (première demande de la CACEM) ont été effectuées par le bureau d'études CES-CEBTP après prélèvement le 29 novembre 2012, en deux points sur le dépôt de sable à l'embouchure de la rivière Case-Navire et en trois points sur la plage de l'Anse Madame.

Les résultats sont les suivants (cf. Rapport 12EC209 du CES-CEBPT):

Bouchon sableux à l'embouchure

Rive Droite : d50=0.55 mm Rive Gauche : d50= 0.85 mm

Anse Madame

Échantillon Nord : d50=0.45 mm Échantillon Central : d50= 1.4 mm Échantillon Sud : d50= 0.55mm

2) Dans le cadre de l'étude initiale, une campagne de prélèvement de sédiments sur les plages de la zone d'étude s'est déroulée le 18 avril 2013 depuis Fond Bourlet jusqu'à la Pointe des Nègres. De nouvelles analyses ont été réalisées sur les échantillons prélevés au niveau du bouchon sableux de l'embouchure de la rivière Case-navire (3 échantillons) ainsi que sur la plage de l'Anse Madame (2 échantillons).

Rivière Case-Navire :

Échantillon A : d50 = 0.54 mm Échantillon B : d50 = 0.50 mm Échantillon C = 0,79 mm

Anse Madame :

Échantillon A (Nord) : d50 = 0.50 mm Échantillon B (Sud) : d50 = 0.35 mm

3) D'après la note technique 101077-NT-3 de CréOcéan de 2003 : « Le sédiment rajouté pour le rechargement doit être le plus possible en accord avec les caractéristiques hydrodynamiques et morphodynamiques du milieu. Le diamètre moyen des grains doit être défini de telle sorte que le sable de rechargement ne soit au minimum, pas plus mobile que le sable initialement en place. D'une manière générale, le d50 du fuseau granulométrique retenu est supérieur à celui du fuseau en place » (paragraphe 4.1).

D'après les analyses granulométriques faites par CES-CEBTP, seul l'échantillon Nord de l'Anse Madame possède une granulométrie caractérisée par un d50 inférieur aux sédiments du bouchon sableux.

Suite aux secondes analyses, nous pouvons constater une évolution de la granulométrie au sein même de la plage de l'Anse Madame. Le secteur nord possède au niveau du prélèvement de l'échantillon A, un diamètre moyen égal à celui de l'échantillon B de la rivière Case-Navire. Il n'est donc pas plus mobilisable que le sable initialement mis en place.

En tenant compte des préconisations de la note technique CréOcéan et à partir des valeurs de d50 obtenues, la seule solution pour que le sable ne soit « au minimum pas plus mobile que le sable en place » est que le rechargement se fasse sur la partie nord de la plage Anse Madame. À partir des deux analyses effectuées à plus de deux mois d'intervalle, le sud de la plage serait plus exposé à une mobilisation (=érosion) importante des sédiments en fonction de l'état de la mer.

Analyses Chimiques

Les analyses chimiques font l'objet de l'avenant n°1 et sont sous-traitées au bureau d'étude BURGEAP (Cf. Rapport BRGM_REAUCa0078-02)

Trois prélèvements ont été réalisés le 23 juillet 2013 sur le bouchon sableux situé à l'embouchure de la rivière Case-Navire. Cette barrière naturelle est constituée à la fois de sédiments fluviaux et de sédiments marins.

Les échantillons ont été analysés ensuite par le Laboratoire EUROFINS.

Les résultats des analyses sont les suivants :

 les concentrations en éléments traces métalliques, en HAP et en PCB sont inférieures aux valeurs du seuil S1 définies par l'arrêté du 9 aout 2006 qui détermine si le curage des sédiments est soumis à autorisation ou à déclaration au regard de la rubrique 3.2.1.0 de la loi sur l'eau ;

- les concentrations en indices hydrocarbures totaux, HAP, PCB, BTEX et COT obtenus sur les échantillons de sédiments sont inférieures aux valeurs limites pour des terres de catégorie A1 (ISDI);
- les concentrations en chlorure et la fraction soluble sont supérieures aux valeurs limites (1230 mg/kg M.S pour un seuil de 800 mg/kg M.S) pour des terres de catégorie A1 (ISDI) et inférieures aux valeurs limites pour des terres de catégorie B1 (ISDND) pour l'échantillon Case Navire 1.

Au vu de ces résultats, le curage des sédiments à l'embouchure de la rivière Case Navire ne présente pas d'impacts significatifs négatifs à la date des prélèvements. La particularité des sédiments marins est leur fraction soluble, notamment leur teneur en chlorures. Cette caractéristique est naturelle et n'est liée à aucune pollution.

Conclusion :

Au vu de ces analyses granulométriques et chimiques, le BRGM ne voit aucune contre-indication au rechargement du nord de l'Anse-Madame à partir des sédiments issus du curage du bouchons sableux de l'embouchure de la rivière Case-Navire

- le d50 des sédiments de rechargement est supérieur ou égal à celui des sédiments du nord de l'Anse Madame ;
- les sédiments de rechargement ont des teneurs en dessous des seuils S1 définis par l'arrêté du 9 août 2006 ;
- les sédiments de rechargement ont des teneurs en dessous des seuils de l'Annexe II (hors Chlorures) définis par l'arrêté du 28 octobre 2010 ;
- les sédiments de l'échantillon Case-navire 1 ont une teneur en Chlorure supérieure au seuil défini par l'arrêté du 28 octobre 2010. Cette concentration naturelle s'explique dans ce cas, par l'origine marine d'une partie des sédiments et non par une pollution ;

Le BRGM recommande à la CACEM de renouveler l'opération d'analyses chimiques avant chaque curage, afin de s'assurer qu'il n'y ait pas d'évolution des concentrations des éléments définis par les seuils des arrêtés cités ci-dessus.

Le BRGM recommande à la CACEM de se rapprocher des services de l'état pour constituer le dossier de demande de travaux sur le Domaine Publique Maritime dans le cadre du rechargement de plages.

Le BRGM recommande également à la CACEM de se rapprocher des services de la police de l'eau pour définir s'il convient de présenter un dossier loi sur l'eau dans le cadre du curage, avant qu'une opération de rechargement soit organisée.

Les déchets situés sur les sédiments (bouteilles de sodas, filets de pêche, …) devront être au préalable retirés des sédiments de rechargement.

PJ : 2

Rapport CES-CEBTP : 12EC209 Rapport BURGEAP : BRGM_REAUCa00781-02

, × .

Annexe 6

Suivi topographique de l'évolution des plages de Schœlcher

F. Dolique, J. Carpentier Rapport UAG Janvier 2014

 $\triangleright \leq \angle \uparrow \angle$





pour le développement



Franck DOLIQUE

Jessica CHARPENTIER

JANVIER 2014



DELTA - BRGM

Suivi topographique de l'évolution des plages de Schoelcher

(Anse Madiana ; Anse Madame ; Anse Collat)

Année 2013 Etude financée dans le cadre de la convention CACEM – BRGM « assistance technique à la CACEM pour la

gestion du littoral de Schoelcher, Martinique »



DTRAFFICULE DTRAFFICULE DESLITTORAUX

RAPPORT TECHNIQUE Sous-traitance BRGM - DELTA

Suivi topographique de l'évolution des plages de Schoelcher (Anse Madiana, Anse Madame, Anse Collat) Année 2013

Etude financée dans le cadre de la convention CACEM – BRGM « assistance technique à la CACEM pour la gestion du littoral de Schoelcher, Martinique »

Comité de rédaction du rapport :

Franck DOLIQUE

Professeur des Universités Université des Antilles et de la Guyane Chercheur à l'UMR 228 ESPACE-DEV (IRD – UAG – UR – UM2) <u>franck.dolique@martinique.univ-ag.fr</u> <u>franck.dolique@ird.fr</u>

> Jessica CHARPENTIER Doctorante en Géographie Université des Antilles et de la Guyane

JANVIER 2014

SOMMAIRE

.

1/ CONTEXTE DE L'ETUDE	4
2/ OBJECTIFS DE L'ETUDE	5
3/ SITES D'ETUDE	5
4/ APPROCHES METHODOLOGIQUES	7
5/ RESULTATS	9
6/ ANALYSE	13
7/ CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS D'EXPERTISE	15
8/ REFERENCES	17
LISTE DES FIGURES	18

1/ CONTEXTE DE L'ETUDE

La commune de Schœlcher a récemment interpellé la CACEM au sujet de l'ensablement de l'embouchure de la rivière Case-Navire et de l'évolution parallèle des plages alentours. La retenue d'eau consécutive à ce bouchon sableux provoque un refoulement des eaux dans les caniveaux et vulnérabilise d'autant la commune face au risque de crue soudaine. La ville de Schœlcher se voit alors contrainte de réaliser des travaux de curage réguliers.

Ces problèmes d'ensablement semblent s'être accentués avec la fixation par des enrochements du polder de la rive droite de la rivière Case-Navire dans le cadre de l'aménagement du front de mer de Schœlcher. Cet ensablement se produit en période de carême, lorsque le débit est le plus faible. L'origine du problème est a priori liée à ces aménagements récents.

Au regard des répercussions déjà constatées sur les plages du Lido, de l'anse Madame, du bourg et de Madiana, la dynamique côtière de cette zone apparaît interconnectée. Il convient donc d'aborder cette problématique dans une logique durable de gestion intégrée du littoral. En conséquence, l'étude du phénomène d'ensablement de l'embouchure de la rivière Case-Navire sera couplée à l'étude de la dynamique hydro-sédimentaire à une échelle adaptée du littoral. On peut noter que, en 2003, CréOcéan, dans sa note Technique 101077 – NT- 3 réalisée avant la deuxième tranche de travaux de l'aménagement du front de mer, préconisait un suivi hydro-sédimentaire et environnemental pour mesurer les évolutions de la façade littorale de la commune. La présente étude s'inscrit directement dans cette préconisation.

En effet, à l'heure actuelle, il n'existe pas de quantification ni de qualification des agents hydrodynamiques influençant l'évolution du littoral et *a fortiori* d'étude des processus de transport sédimentaire (dérive littorale,...) sur la façade littorale de Schœlcher, et plus généralement sur la côte caraïbe de la Martinique. Le recueil et la valorisation des données existantes est indispensable mais ne sera pas suffisant pour comprendre la dynamique hydro-sédimentaire de la zone. Aussi, l'acquisition, le traitement et l'analyse de mesures hydrodynamiques (courants, niveau d'eau et vagues) et sédimentologiques est nécessaire.

Le même constat d'absence de données hydrodynamiques est fait par le Contrat de la Baie de Fort de France. Ce dispositif vise à assurer le maintien de la qualité des eaux et le cas échéant sa restauration sur 5 ans. La Communauté d'Agglomération du CEntre de la Martinique, (CACEM) assure le portage du contrat dans sa phase opérationnelle. Le programme d'action du Contrat de la Baie de Fort-de-France s'articule en 65 actions réparties en 7 thématiques. Une action spécifique prévoit la modélisation hydro-sédimentaire de la baie (action F2.3).

Aussi le projet d'assistance technique du BRGM à la CACEM pour la gestion du littoral de Schœlcher suite aux aménagements du bourg s'intègre t'il pleinement dans l'action F.2.3 du "Contrat de la baie de Fort-de-France".

(texte issu de la convention CACEM-BRGM)

2/ OBJECTIFS DE L'ETUDE

Cette étude a pour objet de caractériser la dynamique de trois plages de la commune de Schoelcher pour en identifier les tendances évolutives sur l'ensemble de l'année civile 2013.

L'utilisation de techniques topographiques fines (voir 4/ Méthodologie), permettent de quantifier et illustrer les évolutions d'une plage (érosion, accrétion, transferts sédimentaires longitudinaux et transversaux...) mais aussi d'apporter des éléments de rythmicités interannuelles qui constituent sa « vie sédimentaire », paramètre fondamental à bien appréhender pour une gestion toujours délicate de ces environnements fragiles.

3/ SITES D'ETUDE

Sur les quatre plages principales de la commune de Schoelcher, nous avons choisi de ne pas suivre l'évolution de la plage du bourg car celle-ci, trop enserrée, ne présente pas de variations significatives par les forçages naturels.

Les plages de Madiana et Collat-Lido présentent des longueurs et largeurs suffisantes pour en identifier une dynamique naturelle longitudinale et transversale significative. Madiana possède en outre une alimentation sédimentaire directe par la présence de l'embouchure de la rivière fond Nigaud.

La plage de l'Anse Madame elle a attiré notre intérêt pour trois raisons :

- Son érosion importante de sa section Nord-Ouest,
- Sa dérive littorale inverse à celle des autres plages de ce secteur de la Martinique,
- La présence à proximité du bouchon vaseux de la rivière Case-Navire.

La figure 1 ci-dessous présente la localisation des profils mesurés et leur longueur moyenne, ainsi que la localisation des têtes de station sur les trois plages étudiées.



Figure 1 : Localisation des têtes de station et des profils

4/ APPROCHES MÉTHODOLOGIQUES

La méthode repose sur la mise en place de profils topographiques transversaux à la plage. Ces profils montrent le dessin des pentes élémentaires et des ruptures de pentes de la plage.

Les profils sont levés à partir d'un théodolite laser appelé aussi station totale tachéométrique (LEICA ® TS 06, voir photos figure 2).

Le point de départ de chaque profil est localisé sur une tête de station géoréférencée. Cette tête de station est souvent un point remarquable, fixe et pérenne, sur le haut de plage, à partir duquel on vient se réinstaller à chaque mesure de réitération.

Le principe fondamental de la méthode est la réitération des mesures, sur un pas de temps régulier, à partir du même point de départ et sur un axe de mesure identique. Le pas de temps choisi est une mesure par mois, sur une année.

De manière générale, le choix se porte sur la réalisation de trois profils par plage : deux aux extrémités et un en section centrale de la plage, pour capter ainsi les transferts longitudinaux de sédiments. C'est ce qui a été réalisé sur les plages de Madiana et Collat (Figure 1). Pour l'anse Madame, nous n'avons pu réaliser que deux profils. La situation de faiblesse du stock sédimentaire de la partie Nord-Ouest de l'Anse et la présence de murs verticaux nous nous ont empêchés de mettre en place une tête de station fiable.

Une fois la mesure réalisée, les données butes sont déchargées et traitées sur un logiciel (PROFILER ®) qui va restituer le profil en coupe en deux dimensions.

Lors de la réitération, les profils sont ensuite superposés pour identifier les variations dans une dynamique transverse. Cette dynamique peut-être renforcée par un caractère quantitatif en calculant le volume de sédiment au mètre linéaire et en comparant les résultats obtenus mois après mois.

L'analyse des tendances évolutives des profils voisins peut également donner des éléments d'interprétation fiables des transits sédimentaires longitudinaux.

Les données numériques brutes et les profils sont présentés en annexe.



Station totale tachéoétrique LEICA TS 06



Tête de station 300, MADIANA



Tête de station 200, MADAME



Tête de station 200, COLLAT

Figure 2 : Photographies (FD - DELTA)

5/ RESULTATS

Analyse des profils de l'anse Madiana

Le profil 100 (figure 3) montre une érosion progressive au cours de l'année avec un redressement du profil marin. En octobre et novembre, quelques événements hydrodynamiques de forte intensité ont provoqué un glissement du matériel sédimentaire sous la forme d'une berme d'avant-côte. Cette berme a ensuite disparu au profit d'un léger ré-engraissement sur la zone de déferlement.

Le profil 200 (figure 4) montre une phase de stabilité avec des gradins sommitaux d'accrétion. Le profil s'est ensuite érodé dans le courant de la saison cyclonique par impulsions paroxysmiques. Il présente, à partir de ce moment, un versant marin plus fort et une élévation consécutive de la crête sommitale par les déferlements les plus forts (up-rush, overtopping).

Le profil 300 (figure 5) montre une accrétion importante de cette section de plage pendant la saison sèche. Le profil s'est ensuite régularisé pour s'éroder légèrement lors de la saison agitée (fin de saison cyclonique et arrivée des alizées de fin d'année).

L'anse de Madiana évolue selon deux schémas : des transferts sableux transversaux impulsés lors de phases paroxysmales courtes, et une dérive littorale modale orientée SE-NW, ce qui n'exclue pas des alternances passagères de transit en fonction de l'orientation des régimes de houle.

Analyse des profils de l'anse Madame

Le profil 100 (figure 6) présente une morphologie avec une banquette sommitale assez large, caractéristique des secteurs en accrétion. Ce qui est le cas sur le long terme si l'on observe les photographies aériennes. Lors de la première partie de l'année, le profil a présenté une érosion assez significative, surtout sur la période avril-mai-juin, période de saison sèche présentant d'ordinaire des calmes hydrodynamiques mais cette année 2013 a été marquée par quelques ondes provoquant des phases d'agitation courtes mais significatives. Aucune berme ne s'étant formée en avant-plage, le sable ayant été redistribué sur l'axe longitudinal. Lors de la saison agitée (fin de saison cyclonique, début de saison des alizées), le profil s'est faiblement et progressivement ré-engraissé.

Le profil 200 (figure 7) présente une évolution variable alternative, avec une première phase d'érosion en début d'année, puis une phase d'accrétion en saison cyclonique, puis de nouveau une phase d'érosion au retour des alizés.

Cette plage présente une évolution particulière qu'il convient de souligner. Tout d'abord, sur le long terme, comme en témoigne une analyse des photographies aériennes dans une étude en cours, elle présente une dérive littorale dominante modale orientée NW-SE, ce qui va à l'encontre des autres dérives modales de ce secteur de la Martinique. Cette situation est liée à la présence d'un ouvrage anthropique majeur : l'esplanade des Arawaks. Cet ouvrage imprime une rotation des houles modales par effet de diffraction. L'obliquité de la houle au déferlement s'en trouve modifiée, impulsant une dérive vers le SE.

En situation de paroxysme, lorsque la houle est plus gonflée (passage d'ondes tropicales circulation de trains de houles longues, parfois d'origine cyclonique) cette altération diffractive est moins nette et le transit reprend son cours SE-NW.

Au cours de cette année 2013, cette plage a subi des balancements sédimentaires longitudinaux imprimées par les variations des régimes de houle (appelés dans la littérature : rotations sédimentaires : Dolique et al. 2005). deux phases NW-SE diffractives et une phase SE-NW paroxystique.

Analyse des profils de l'anse Collat – Lido

Le profil 100 (figure 8) montre une accrétion très significative au cours de la saison sèche, puis une stabilisation au cours de la saison cyclonique, et enfin une phase d'érosion modérée au cours de la période de renforcement de l'agitation par le retour des alizés, visible surtout par le raidissement du bas de l'estran.

Le profil 200 (figure 9) montre une remontée progressive et significative du sable sur la partie supérieure de la plage au cours de la saison sèche. Puis une phase d'érosion avec glissement du matériel sédimentaire vers l'avant-côte lors de la saison agitée.

Le profil 300 (figure 10) montre une tendance générale érosive. On note en particulier les effets d'un événement paroxysmique en septembre avec une falaise d'érosion verticale et un glissement de sable vers l'avant-côte. Une remontée de sable est observée à partir du début de la saison des alizés.

Cette plage présente une dérive littorale nette orientée vers le NW. On y observe également les effets d'événements météo-marins de plus forte intensité, caractérisés par une cicatrice d'érosion et un glissement du sable vers l'avant-côte immédiate ; matériel ensuite repris par l'agitation modale. La redistribution du sable sur l'ensemble du profil est plus efficace sur la saison agitée.



Figure 3 : Profil 100 à Madiana.



Figure 4 : Profil 200 à Madiana.



Figure 5 : Profil 300 à Madiana.



Figure 6 : Profil 100 à Madame.



Figure 7 : Profil 200 à Madame.



Figure 8 : Profil 100 à Collat.



Figure 9 : Profil 200 à Collat.



Figure 10 : Profil 300 à Collat.

6/ ANALYSE

Les résultats de nos mesures montrent que ces plages évoluent à **court terme de façons alternatives et rapides**. Sur le **moyen terme, elles présentent une organisation commandée par une dérive littorale** (transferts longitudinaux) certes faible mais morphologiquement efficace.

Les observations permettent de dégager plusieurs tendances :

- Les plages de Schoelcher subissent des alternances transversales de transit sédimentaire (phases d'érosion avec descente du sable dans le profil qui alternent assez souvent avec des phases d'accrétion accompagnées de remontée du sable dans le profil). Les phases d'érosion sont souvent liées à des événements météo-marins courts mais de forte intensité (houles cycloniques, houles générées par des pulsations d'alizés ou des ondes tropicales). Ces phases peuvent intervenir à n'importe quelle saison de l'année mais sont souvent plus fréquentes en période des alizés (décembre-mars) et plus intenses en périodes cycloniques. Les phases d'accrétion se réalisent lors de périodes d'agitation modérées, les houles sont alors assez fortes pour être constructrices (mais pas assez fortes pour être destructrices) et remonter le matériel sur le profil, jusqu'au sommet du celui-ci, pour les vagues les plus fortes.
- La dérive littorale est clairement identifiée SE-NW, aussi bien par les observations des photographies aériennes que par les mesures topographiques. Le transit longitudinal est souvent marqué en Martinique par des phases alternatives (allers-retours du matériel sédimentaire) en fonction de l'orientation saisonnière des

houles. Mais sur le long terme, la dérive dominante est SE-NW car dans ce secteur de la Martinique, les houles d'alizé atlantique subissent encore la diffraction du sud de l'île par le canal de Ste Lucie, ainsi que la réfraction en entrée de bais de Fort-de-France.

- L'anse Madame présente une exception au schéma présenté ci-dessus. En effet, l'avancée anthropique sur la mer que représente la place des Arawaks modifie le cheminement des trains de houle par diffraction (figure 11), imprimant une dérive littorale NW-SE qui s'exprime par l'accumulation d'un prisme sédimentaire contre l'esplanade et une érosion concomitante au NW, avec des murs attaqués par les vagues. Lors de phases d'agitation plus importantes, cette diffraction est moins efficace et le transit reprend une circulation naturelle SE-NW.
- La morphologie des plages présente des variations saisonnières régulières pour le transit longitudinal. Ces variations sont plus stochastiques et irrégulières pour le transit transversal. Lors de la saison sèche (Carnaval, Carême, jusque juin) les conditions d'agitation, tout comme les alizés modaux, sont faibles. Les vagues n'ont aucun effet sur la morphologie globale de la plage. Le sable bougera dans le profil (transversalement et longitudinalement) que lors de phases paroxystiques (élévation brutale, intense et courte de l'agitation du plan d'eau, vagues plus hautes et énergétiques). Cette situation provoque généralement une érosion du profil de plage avec un glissement du matériel vers le proche avant-côte. Ces phases paroxystiques peuvent intervenir toute l'année, même si elles sont plus fréquentes en période des alizés (Décembre-mars) et plus intenses en période cyclonique (juin-novembre). La reconstitution du profil de la plage se fera lors de périodes d'agitation modérés, avec des houles reconstructrices qui redistribuent le sédiment des bermes d'avant-côte vers l'ensemble du profil, ré-engraissant ainsi la plage. Des études pilotées par l'UAG et l'IRD s'intéressent actuellement aux notions de seuil de cette agitation marine, à l'interface eau-sédiment.



Figure 11 : Effet de diffraction de la houle par le môle de la place des Arawaks. (les barres jaunes représentent les crêtes de houle)

7/ CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS D'EXPERTISE

Cette étude n'a pas l'ambition d'apporter toutes les réponses au fonctionnement géomorphologique global des plages de Schoelcher. Cependant, les mesures réalisées sur une période d'une année, sur un pas de temps court (une mesure par mois) et sur une échelle spatiale réduite (8 profils sur un linéaire total de 750 mètre) apportent des tendances quantitatives fiables sur la réalité de la dynamique sédimentaire des plages.

Il ressort de l'analyse que l'évolution des plages est commandée par des variations, soit stochastiques, soit saisonnières, des conditions d'agitation (hauteur des vagues, orientation des trains de houle). Les variations transverses du profil sont liées à des phases d'agitation paroxysmiques. Les paroxysmes forts conduisant à l'érosion du profil, les paroxysmes modérés conduisant à leur restauration par accrétion.

Sur le plus long terme, cette alternance sédimentaire provoque une déperdition progressive des sables de plage au profit de l'avant-côte. Ce qui signifie qu'à long terme, la tendance des plages est à l'érosion, comme on a pu l'observer sur une échelle d'un demisiècle.

La dérive littorale, bien qu'alternative par rotation, est dominante dans le sens SE-NW, à l'exception de la plage de l'anse Madame, où la construction du môle de l'esplanade des Arawaks a provoqué par mécanisme de diffraction une dérive NW-SE avec une accumulation massive du prisme sédimentaire à l'abri des enrochements ainsi qu'une inquiétante érosion à l'opposé de la plage.

La gestion d'une plage (actions d'aménagement, lutte contre l'érosion) nécessite à l'amont une parfaite compréhension des mécanismes de transport sédimentaire. Cette étude, très ponctuelle, n'a pas cette ambition ni cette vocation, cependant elle délivre des tendances qui peuvent ensuite être partiellement ou entièrement confirmées par des **études topographiques plus poussées ou des études morphologiques** intégrant des modèles numériques de terrain en 3 dimensions).

La première recommandation d'expert que nous ferons est d'établir un **suivi sur le plus long terme** (2014 et 2015) pour confirmer les tendances identifiées.

La seconde recommandation est de veiller à **redistribuer régulièrement** le sable de l'anse Madiana, en particulier depuis les stocks sous-marins de l'embouchure de la rivière Fond Nigaud.

La troisième recommandation est de **procéder à un rechargement de la plage de l'Anse Madame** pour éviter l'érosion du secteur NW et le grignotage du bâti en arrière. Ce rechargement pourrait certainement être réalisé par un recyclage des stocks existants, en veillant à **ne pas déstabiliser d'autres systèmes**. A défaut, il s'agit d'aller puiser sur des stocks externes à identifier (problème de coût).

La quatrième recommandation porte sur la mise en place d'une **étude du suivi** de ce rechargement afin d'en vérifier l'efficacité.

Il est impératif :

- De **respecter**, autant que faire se peut, le **cycle annuel naturel** des plages en évitant toute ponction non contrôlée de matériel sur la plage, en arrière plage et sur l'avant côte immédiate,
- De **modérer les aménagements lourds** susceptibles de modifier le schéma d'équilibre hydro-sédimentaire des plages,
- D'éviter de puiser du matériel sédimentaire au fond des cours d'eau qui alimentent les plages, sauf ponctuellement pour une action de rechargement,
- En cas d'érosion forte, **procéder à des rechargements** des plages en sable en puisant si possible sur des ressources externes au système, en respectant la granulométrie du matériel et en s'adaptant aux orientations des flux sédimentaires identifiés dans cette étude.

8/ REFERENCES

DOLIQUE, F., ANTHONY, E. (2005) Short-term profile changes of sandy pocket beaches affected by amazon-derived mud, Cayenne, French Guiana. *Journal of Coastal Research*, 21-6, pp. 1195-1202.

DOLIQUE.F., (2013) articulations morphodynamiques, exemples en milieux littoraux tempérés et tropicaux. Presses Académiques Francophones, 260 p.

JEANSON, M., DOLIQUE, F., ANTHONY, E.J., (2010) Un réseau de surveillance des littoraux face au changement climatique en milieu insulaire tropical : l'exemple de Mayotte, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 10 Numéro 3 | décembre 2010, mis en ligne le 20 décembre 2010, URL : http://vertigo.revues.org/10512 ; DOI : 10.4000/vertigo.10512

JEANSON, M., <u>DOLIQUE, F</u>. (2011) An observatory for monitoring the coastal dynamics under extreme meteo-marine conditions. Coastal ecosystems vulnerability to global change and extreme events, 18-21 oct. 2011, Biarritz.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Localisation des têtes de station et des profils	5
Figure 2 :	Photographies	7
Figure 3 :	Profil 100 à Madiana	9
Figure 4 :	Profil 200 à Madiana	.10
Figure 5 :	Profil 300 à Madiana	.10
Figure 6 :	Profil 100 à Madame	.11
Figure 7 :	Profil 200 à Madame	.11
Figure 8 :	Profil 100 à Collat	.12
Figure 9 :	Profil 200 à Collat	.12
Figure 10 :	Profil 300 à Collat	.13
Figure 11 :	Effet de diffraction de la houle par le môle de la place des Arawaks.	.14

, × .

Annexe 7

Piégage sédimentaire : analyse des flux sédimentaires dominants par piégeage Kraus

F. Dolique, J. Carpentier Rapport UAG Janvier 2014









Franck DOLIQUE

Jessica CHARPENTIER

JANVIER 2014



DELTA - BRGM

Piégeage sédimentaire : Analyse des flux sédimentaires dominants par piégeage Kraus

Etude financée dans le cadre de la convention CACEM – BRGM « assistance technique à la CACEM pour la gestion du littoral de Schoelcher, Martinique »



DITIANIQUE ELECONDUCTORIENTE DITIANIQUE DES LITTORAUX

RAPPORT TECHNIQUE Sous-traitance BRGM - DELTA

Piégeage sédimentaire : analyse des flux sédimentaires dominants par piégeage Kraus

Etude financée dans le cadre de la convention CACEM – BRGM « assistance technique à la CACEM pour la gestion du littoral de Schoelcher, Martinique »

Comité de rédaction du rapport :

Franck DOLIQUE

Professeur des Universités Université des Antilles et de la Guyane Chercheur à l'UMR 228 ESPACE-DEV (IRD – UAG – UR – UM2) <u>franck.dolique@martinique.univ-ag.fr</u> <u>franck.dolique@ird.fr</u>

Jessica CHARPENTIER

Doctorante en Géographie Université des Antilles et de la Guyane

JANVIER 2014

SOMMAIRE

.

1/ CONTEXTE DE L'ETUDE	3
2/ OBJECTIFS DE L'ETUDE	4
3/ SITES D'ETUDE	4
4/ APPOCHES METHODOLOGIQUES	6
5/ RESULTATS	8
6/ ANALYSE	11
7/ CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	13
8/: REFERENCES	14
LISTE DES FIGURES	15
ANNEXES	15

1/ CONTEXTE DE L'ETUDE

La commune de Schœlcher a récemment interpellé la CACEM au sujet de l'ensablement de l'embouchure de la rivière Case-Navire et de l'évolution parallèle des plages alentours. La retenue d'eau consécutive à ce bouchon sableux provoque un refoulement des eaux dans les caniveaux et vulnérabilise d'autant la commune face au risque de crue soudaine. La ville de Schœlcher se voit alors contrainte de réaliser des travaux de curage réguliers.

Ces problèmes d'ensablement semblent s'être accentués avec la fixation par des enrochements du polder de la rive droite de la rivière Case-Navire dans le cadre de l'aménagement du front de mer de Schœlcher. Cet ensablement se produit en période de carême, lorsque le débit est le plus faible. L'origine du problème est a priori liée à ces aménagements récents.

Au regard des répercussions déjà constatées sur les plages du Lido, de l'anse Madame, du bourg et de Madiana, la dynamique côtière de cette zone apparaît interconnectée. Il convient donc d'aborder cette problématique dans une logique durable de gestion intégrée du littoral. En conséquence, l'étude du phénomène d'ensablement de l'embouchure de la rivière Case-Navire sera couplée à l'étude de la dynamique hydro-sédimentaire à une échelle adaptée du littoral. On peut noter que, en 2003, CréOcéan, dans sa note Technique 101077 – NT- 3 réalisée avant la deuxième tranche de travaux de l'aménagement du front de mer, préconisait un suivi hydro-sédimentaire et environnemental pour mesurer les évolutions de la façade littorale de la commune. La présente étude s'inscrit directement dans cette préconisation.

En effet, à l'heure actuelle, il n'existe pas de quantification ni de qualification des agents hydrodynamiques influençant l'évolution du littoral et *a fortiori* d'étude des processus de transport sédimentaire (dérive littorale,...) sur la façade littorale de Schœlcher, et plus généralement sur la côte caraïbe de la Martinique. Le recueil et la valorisation des données existantes est indispensable mais ne sera pas suffisant pour comprendre la dynamique hydro-sédimentaire de la zone. Aussi, l'acquisition, le traitement et l'analyse de mesures hydrodynamiques (courants, niveau d'eau et vagues) et sédimentologiques est nécessaire.

Le même constat d'absence de données hydrodynamiques est fait par le Contrat de la Baie de Fort de France. Ce dispositif vise à assurer le maintien de la qualité des eaux et le cas échéant sa restauration sur 5 ans. La Communauté d'Agglomération du CEntre de la Martinique, (CACEM) assure le portage du contrat dans sa phase opérationnelle. Le programme d'action du Contrat de la Baie de Fort-de-France s'articule en 65 actions réparties en 7 thématiques. Une action spécifique prévoit la modélisation hydro-sédimentaire de la baie (action F2.3).

Aussi le projet d'assistance technique du BRGM à la CACEM pour la gestion du littoral de Schœlcher suite aux aménagements du bourg s'intègre t'il pleinement dans l'action F.2.3 du "Contrat de la baie de Fort-de-France".

(texte issu de la convention CACEM-BRGM)

Cette étude a pour objet de caractériser des flux dominants de circulation sédimentaire à l'avant-côte immédiate des plages lors de conditions hydrodynamiques modales représentatives.

Pour cela, nous avons employé la technique du piégeage Kraus (voir section 4 méthodologie). Les volumes piégés par les « chaussettes Kraus », ainsi que les analyses sédimentaires des échantillons, apportent des éléments de compréhension sur les transits sédimentaires et leur organisation dans l'espace.

Ces mesures entrent en complément de mesures topographiques régulièrement réalisées sur les plages (Voir rapport DELTA-BRGM Etude topographique des plages de Schoelcher) afin de tenter de confirmer les tendances de transport longshore (longitudinales à la plage) et crosshore (transversales à la plage).

En liaison avec l'équipe du BRGM, nous avons choisi de réaliser deux campagnes sur deux sites. Les deux campagnes ont été réalisées en fin de saison sèche (juin) et la seconde en fin de saison cyclonique et début de période d'alizés soutenus (décembre). Les deux sites choisis sont l'Anse Madiana et l'Anse Collat (Lido).

3/ SITES D'ETUDE

En fonction des premières analyses de l'étude topographique, nous avons choisi de cibler notre étude sur les Anse Madiana et Collat (Lido), car elles présentaient les meilleurs signes de variations sédimentaires longitudinales et transversales. L'Anse Madame, de part sa faible largeur et sa dissymétrie, a été laissée de coté.

La figure 1 ci-dessous présente la localisation des déploiements des pièges Kraus.





La méthode utilisée repose sur le déploiement de pièges de type KRAUS (1987) qui permettent de mesurer le transport sédimentaire en suspension, saltation et reptation. Ces pièges sont constitués de filets d'une maille de 63 µm et fixés à une bouche métallique normalisée. Nous avons disposé quatre bouches de façon cardinale (figure 2). Les deux premières dans une orientation Nord-Ouest – Sud-Est parallèle à la côte (appelé axe N-S par simplification), les deux autres en orientation plage-large, perpendiculaire à la côte. Cette orientation permet de capter les flux sédimentaires principaux pour une plage : le longshore (longitudinal à la plage) et le crosshore (transversal à la plage).

Chaque piège a été situé sur l'avant-côte immédiate, à proximité de la zone de déferlement (figure 2).

La durée de piégeage choisie était de 24h, avec une vidange des filets toutes les 6 heures. Le sable recueilli était ensuite séché, pesé et des échantillons ont ensuite été envoyés au laboratoire de sédimentologie de l'Unité Mixte de Recherche 7330 CEREGE (Centre Européen de Recherche et d'Enseignement en Géosciences de l'Environnement) pour une analyse granulométrique.

Les plages choisies étaient celles de Madiana et de Collat (Lido) car elles montrent de bonnes caractéristiques de transport longitudinal et transversal, ce qui est moins le cas de l'Anse Madame, plus dissymétrique et perturbée par les structures anthropiques.

Les périodes de mesures choisies étaient en fin de saison sèche et immédiatement après la saison cyclonique, en période d'alizés soutenus. Les dates d'intervention ont été choisies quelques heures à l'avance, en fonction d'une représentativité des conditions hydrodynamiques modales collant à la saisonnalité.



Filet Kraus à maille de 63 micons



Bouche métallique normalisée



disposition cardinale des pièges



piège en action sous 1 m d'eau



Référencement de l'échantillon pour analyse granulométrique après sèchage et pesée


5/ RESULTATS

Les mesures ont été réalisées le 13 juin 2013 et le 13 décembre 2013. Les résultats sont synthétisés dans le tableau de la figure 3.

Piégeage du 13 JUIN 2013	POIDS/24h (pourcentage poids	Taille du grain moyen
	total)	
MADIANA PLAGE	16 369 g. (91,87 %)	0,27 mm.
MADIANA LARGE	1 200 g. (6,74 %)	0,73 mm.
MADIANA NORD	160 g. (0,9 %)	0,51 mm.
MADIANA SUD	88 g. (0,49 %)	0,8 mm.
COLLAT PLAGE	13 680 g. (84,18 %)	0,28 mm.
COLLAT LARGE	1 040 g. (6,4 %)	0,31mm.
COLLAT NORD	840 g. (5,17 %)	0,3 mm.
COLLAT SUD	720 g. (4,43 %)	0,28 mm.

Piégeage du 13 DECEMBRE 2013	POIDS/24h (pourcentage poids total)	Taille du grain moyen
MADIANA PLAGE	6 412 g. (30,3 %)	0,35 mm.
MADIANA LARGE	14 216 g. (67,18 %)	0,66 mm.
MADIANA NORD	380 g. (1,8 %)	0,4 mm.
MADIANA SUD	152 g. (0,72 %)	0,65 mm.
COLLAT PLAGE	3 745 g. (18,14 %)	0,33 mm.
COLLAT LARGE	15 023 g. (72,77 %)	0,25mm.
COLLAT NORD	1 209 g. (5,86 %)	0,32 mm.
COLLAT SUD	667 g. (3,23 %)	0,31 mm.

Figure 3 : Tableau de résultats des piégeages Kraus à Madiana et Collat sur les campagnes de juin et décembre 2013, exprimant les quantités de sables piégés (en grammes), le pourcentage piégé par rapport au poids total ; la taille du grain moyen de l'échantillon.

La figure 4 représente une transcription graphique des tendances de transit sédimentaire sur les plages. Ces tendances, exprimées en poids de sable piégé et en pourcentage par rapport au poids total, montrent des transits dominants nets et une saisonnalité. Ces tendances seront analysées dans la section 6 de ce rapport.





6/ ANALYSE

Les résultats montrent une **prépondérance nette des flux transversaux** (crosshore : perpendiculaires au trait de côte, dans le profil de la plage) au détriment des flux longitudinaux (longshore : parallèles au trait de côte). Cette situation est classique des flux observés sur des plages réduites de ce type (plages de poche, plages d'anses, plages enserrées...), en particulier sur le court terme, situation où le transit sédimentaire est imprimé par les mouvements de swash (alternance du jet de rive et de la nappe de retrait).

Les flux longshore sont ceux générés par un courant résultant modal de la dynamique de swash dans une situation d'obliquité de la houle (dérive littorale). Ils sont moins nets ici en termes de volumes piégés mais montrent tout de même, pour les deux plages et pour les deux périodes, une **orientation Sud-Nord conforme à la dérive littorale modale** déjà observée par les mesures topographiques et l'analyse des photographies aériennes.

Les mesures montrent également une renverse **de l'orientation de flux dominant liée à la saisonnalité**. En saison sèche, les alizés sont faibles et génèrent une houle constructrice dont le courant orbital (micro-courant alternatif sur le fond sableux provoqué par le swash et entraînant un mouvement d'aller-retour du sédiment) est dit « positif ». Cela signifie que le transport modal du sable est orienté à la côte et que **la plage reconstitue son stock de sable** à partir des stocks de l'immédiate avant-côte.

En saison des alizés (période de renforcement de la force des alizés s'échelonnant de début décembre à fin mars) ou en situation de paroxysme (onde tropicale, tempête, cyclone, houle cyclonique...), les houles sont gonflées, avec une hauteur significative plus importante provoquant un déferlement énergétique, les courants orbitaux des vagues sont dits « négatifs » et transportent des quantités importantes de sable de **la plage vers l'avant-côte, provoquant ainsi l'érosion (souvent provisoire sur le court terme) de la plage**.

L'analyse des mesures réalisées sur la plage de Madiana nous montrent :

Pour le 18 juin 2013 :

- Un flux de sédiments très majoritairement dominant (91.87 %) orienté vers la plage.
- Un flux longitudinal faible mais orienté préférentiellement vers le nord, ce qui est conforme à la dérive littorale dominante observée.

Cette situation répond parfaitement aux conditions d'agitation hydrodynamique du jour (18 juin) avec des houles modérées **constructrices apportant du sable sur la plage**. La dérive vers le nord (faible car l'agitation et l'obliquité étaient faibles ce jour là) correspond à une **obliquité faiblement marquée** de la houle de provenance sud-ouest.

Pour le 18 décembre 2013 :

- Un flux de sédiments très majoritairement dominant (67,18 %) vers le large. Un flux vers la plage plus significatif (30.3 %).
- Un flux longitudinal toujours orienté vers le nord

Cette situation d'inversion de la tendance de transport (une tendance vers le large en décembre alors que l'on notait une tendance vers la plage en juin) est caractéristique d'une

variation des conditions d'agitation. Le renforcement des alizés (vents d'Est, et en particulier de Nord-Est en période hivernale) enregistré généralement à partir de décembre, provoque un gonflement des vagues et un renforcement des trains de houles de secteur Est. Ces houles qui contournent l'île par réfraction - diffraction, provoquent une élévation de l'agitation modale en secteur caraïbe. Le déferlement à la plage, alors plus important, donne aux vagues une tendance négative au courant orbital et donc un transport du sable de la plage vers l'avant-côte. Le transport sur la plage est plus important que précédemment (30 %), ce qui est lié à l'agitation plus importante et un jet de rive par conséquence plus important. Mais la différence des deux flux est à l'avantage net du transport vers le large et donc de l'érosion du front du profil de plage.

La dérive littorale vers le Nord est elle aussi plus marquée. Elle est liée là encore à un renforcement de la houle et de sa réfraction – diffraction par son passage par le canal de Sainte Lucie.

L'analyse des sédiments au granulomètre laser (réalisée au CEREGE d'Aix-en-Provence), montre le caractère grossier et fortement hétérométrique du sable piégé (remarque valable sur l'ensemble de la plage, en particulier dans son secteur Sud. Cette situation est liée à la présence proche de l'embouchure d'un petit fleuve (rivière Fond Nigaud)

Le Sorting index (So, indice de classement ou de dispersion de l'échantillon), montre des valeurs de classement moyens, avec des parts de sables grossiers (0.5 mm à 2 mm) et ballasts (> 2 mm) non négligeable (voir annexes). On retrouve les éléments les plus grossiers en queues de courants.

L'analyse des mesures réalisées sur la plage de Collat – Lido montrent :

Pour le 18 juin 2013 :

Une situation similaire à Madiana, avec un flux dominant vers la plage et un transit littoral résiduel faible vers le Nord.

Pour le 18 décembre 2013 :

Une situation similaire à Madiana, avec un flux dominant vers le large et un transit littoral résiduel faible vers le Nord.

La distribution sédimentaire montre un sable plus homogène et mieux classé.

Pour conclure :

Les plages de Madiana et Collat – Lido montrent un fonctionnement sédimentaire à dominante transversale, imposant des échanges saisonniers de sable dans le profil. En saison sèche (et plus globalement dans des conditions d'agitation modales à calmes) les houles constructrices remontent progressivement le sable des stocks du proche avantcôte jusqu'à la zone émergée de déferlement, où ils sont ensuite redistribués dans le profil par les vagues les plus hautes (run-up).

En saison des alizés (de décembre à mars), les **houles plus énergétiques transportent le sable de la plage vers le proche avant-côte**, où ils se déposent en deçà de la zone de déferlement, dans ce qui constitue un stock-relais utilisé pour reconstituer la plage lors de la saison constructrice suivante.

La dérive littorale est ici **faiblement identifiée vers le secteur Nord**. Les dépôts résultants de cette dérive s'opèrent sur une plus longue période que celle de l'observation dans la cadre de cette étude.

Malgré les faibles volumes piégés ici, cette dérive Sud-Est – Nord-Ouest n'est pas négligeable, comme nous avons pu l'observer au cours de l'étude sédimentologique. Elle peut également s'inverser au cours d'une année, mais la résultante finale reste SE-NW.

7/ CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS D'EXPERTISE

La gestion d'une plage (actions d'aménagement, lutte contre l'érosion) nécessite à l'amont une parfaite compréhension des mécanismes de transport sédimentaire. Cette étude, très ponctuelle, n'a pas cette ambition ni cette vocation, cependant elle délivre des tendances qui sont ensuite partiellement ou entièrement confirmées par des études topographiques (suivis de profils de plages) ou morphologiques (suivis de modèles numériques de terrain en 3 dimensions).

L'information délivrée ici, et qui confirme un grand nombre d'observations réalisées empiriquement ou quantitativement, est que les plages de Schoelcher, comme la grande majorité des plages en Martinique, fonctionnent avec une circulation sédimentaire transversale, alternative et saisonnière. Des phases de démaigrissement alternent avec des phases de ré-engraissement. L'équilibre naturel des plages est auto-géré par la variation saisonnière des conditions hydrodynamiques.

Sur le plus long terme, cette alternance sédimentaire provoque une déperdition progressive des sables de plage au profit de l'avant-côte. Ce qui signifie qu'à long terme, la tendance des plages est à l'érosion, comme on a pu l'observer sur une échelle d'un demi-siècle.

Face à cette situation, il est impératif :

- De respecter, autant que faire se peut, le cycle annuel naturel des plages en évitant toute ponction de matériel sur la plage, en arrière plage et sur l'avant côte immédiate.
- De modérer les aménagements lourds susceptibles de modifier le schéma d'équilibre hydro-sédimentaire des plages.
- D'éviter de puiser du matériel sédimentaire au fond des cours d'eau qui alimentent les plages.
- En cas d'érosion forte, procéder à des rechargements des plages en sable en puisant sur des ressources externes au système, en respectant la granulométrie du matériel et en s'adaptant aux orientations des flux sédimentaires identifiés dans cette étude.

8/ REFERENCES

DOLIQUE.F., (2013) articulations morphodynamiques, exemples en milieux littoraux tempérés et tropicaux. Presses Académiques Francophones, 260 p.

JEANSON, M., DOLIQUE, F., ANTHONY, E.J., (2010) Un réseau de surveillance des littoraux face au changement climatique en milieu insulaire tropical : l'exemple de Mayotte, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 10 Numéro 3 | décembre 2010, mis en ligne le 20 décembre 2010, URL : http://vertigo.revues.org/10512 ; DOI : 10.4000/vertigo.10512

JEANSON, M., <u>DOLIQUE, F</u>. (2011) An observatory for monitoring the coastal dynamics under extreme meteo-marine conditions. Coastal ecosystems vulnerability to global change and extreme events, 18-21 oct. 2011, Biarritz.

KRAUS, **N.C.**, **(1987)** Application of portable traps for obtaining point measurements of sédiment transport rates in the surf zone. *Journal of Coastal Research*, 3, pp 139-152.

ROSATI, J. D., KRAUS, N. C., (1989) Development of a portable sand trap for used in a *nearshore.* Department of the US Army Corps of Engineers. Technical report CERC, 89-91, 181 p.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des pièges Kraus	5
Figure 2 : Photographies des pièges Kraus	7
Figure 3 : Tableau de présentation des résultats	8
Figure 4a : Tendances graphiques des flux sédimentaires (a : à Madiana)	9
Figure 4b : Tendances graphiques des flux sédimentaires (b : à Collat)	10

ANNEXES

MADIANA LARGE

Paramètres et Indices		
	Laser	Graphique (Folk et Ward, 1957)
Mode mm	0,7510930	0,7168700
Meansize* mm	0,7304480	0,7167733
Mediane mm	0,6769210	0,6769210
Sorting Index (So)		0,7871864
Skewness (Ski)		0,1313699
Kurtosis (K)		1,0715451



MADIANA PLAGE

Paramètres et Indices		(mm)
Grain moyen (phi)	0,27	0,83
Sorting Index (So)	0,64	
Skewness (Ski)	-0,07	
Kurtosis (K)	0,99	

ANALYSE PHYSIQUE DES SABLES		
Couleur Munsell (humide)		
Texture des terres fines		
(<2mm)		
Sables (en %)	99,36	
Limons + Argiles (en %)	0,64	
Argiles (en %)	0,00	
Texture des sables (en %)		
Sables grossiers (2-0,5mm)	72,65	
Sables moyens (0,5-0,2mm) 27,03		
Sables fins (0,2-0,05mm) 0,32		



MADIANA NORD

Paramètres et Indices		(mm)
Grain moyen (phi)	0,51	0,70
Sorting Index (So)	0,74	
Skewness (Ski)	0,02	
Kurtosis (K)	1,21	

ANALYSE PHYSIQUE DES SABLES		
Couleur Munsell (humide)		
Texture des terres fines		
(<2mm)		
Sables (en %)	99,73	
Limons + Argiles (en %)	0,27	
Argiles (en %)	0,00	
Texture des sables (en %)		
Sables grossiers (2-0,5mm)	58,41	
Sables moyens (0,5-0,2mm) 38,71		
Sables fins (0,2-0,05mm) 2,88		



MADIANA SUD

Paramètres et Indices		
Laser Graphique (Folk et Ward, 15		Graphique (Folk et Ward, 1957)
Mode mm	0,8245180	0,7869500
Meansize* mm	0,8059940	0,7952987
Mediane mm	0,7580590	0,7580590
Sorting Index (So)		0,6846093
Skewness (Ski)		0,1002939
Kurtosis (K)		1,0083409

Textures des sables et terres fines		
% limons et arg	iles	1,23
Sables grossiers (2-0,5mm)		64,35
Sables moyens (0,5-0,2mm)		32,73
Sables fins	(200-50µm)	1,69
Limons grossiers (50-20µm)		0,31
Limons fins	(20-2µm)	0,62
Argiles	(<2µm)	0,31



LIDO LARGE

Paramètres et Indices		
	Laser	Graphique (Folk et Ward, 1957)
Mode mm	0,2452430	0,2340700
Meansize* mm	0,3163260	0,2835667
Mediane mm	0,2622100	0,2622100
Sorting Index (So)		0,6381266
Skewness (Ski)		-0,1431749
Kurtosis (K)		1,1903053

Textures des sables et terres fines		
% limons et argiles 0,69		
Sables grossiers (2-0,5mm)	5,66	
Sables moyens (0,5-0,2mm)	49,12	
Sables fins (200-50µm)	44,52	
Limons grossiers (50-20µm)	0,16	
Limons fins (20-2µm)	0,19	
Argiles (<2µm)	0,34	



LIDO PLAGE

Paramètres et Indices		
	Laser	Graphique (Folk et Ward, 1957)
Mode mm	0,2234020	0,2132200
Meansize* mm	0,2893230	0,2544333
Mediane mm	0,2392660	0,2392660
Sorting Index (So)		0,5818895
Skewness (Ski)		-0,1261109
Kurtosis (K)		1,2155100

Textures des sables et terres fines		
% limons et argiles	0,96	
Sables grossiers (2-0,5mm)	4,49	
Sables moyens (0,5-0,2mm)	40,62	
Sables fins (200-50µm)	53,92	
Limons grossiers (50-20µm)	0,34	
Limons fins (20-2µm)	0,26	
Argiles (<2µm)	0,36	



LIDO NORD

Paramètres et Indices		
	Laser	Graphique (Folk et Ward, 1957)
Mode mm	0,2234020	0,2132200
Meansize* mm	0,3007980	0,2595113
Mediane mm	0,2404270	0,2404270
Sorting Index (So)		0,6794479
Skewness (Ski)		-0,1668011
Kurtosis (K)		1,3571766

Textures des sables et terres fines			
% limons et argiles	1,05		
Sables grossiers (2-0,5mm)	5,78		
Sables moyens (0,5-0,2mm)	40,15		
Sables fins (200-50µm)	53,02		
Limons grossiers (50-20µm)	0,33		
Limons fins (20-2µm)	0,28		
Argiles (<2µm)	0,44		



LIDO SUD

Paramètres et Indices		
	Laser	Graphique (Folk et Ward, 1957)
Mode mm	0,2234020	0,2132200
Meansize* mm	0,2836300	0,2448020
Mediane mm	0,2313380	0,2313380
Sorting Index (So)		0,5691556
Skewness (Ski)		-0,1464604
Kurtosis (K)		1,2603510

Textures des sables et terres fines		
% limons et argiles	0,91	
Sables grossiers (2-0,5mm)	4,53	
Sables moyens (0,5-0,2mm)	36,63	
Sables fins (200-50µm)	57,93	
Limons grossiers (50-20µm)	0,26	
Limons fins (20-2µm)	0,24	
Argiles (<2µm)	0,41	



, × .



Centre scientifique et technique 3, avenue Claude-Guillemin BP 36009 45060 – Orléans Cedex 2 – France Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr **Direction régionale "Martinique"** Adresse : 4 lot. Miramar Route Pointe des Nègres 97200 – Fort de France - France Tél. : 05 96 71 17 70