

Observatoire du littoral des Pays de Monts

Rapport d'avancement 2011

BRGM/RP-61098-FR
Avril 2012

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2011 11LITA07

**C. Le Guern, P. Fattal, L. Gouguet, V. Baudouin, M. Robin, M. Maanan, F. Debaine,
J. Jaouen, R. Renault, M. Juigner, A. Durand, J. Coquin**
Avec la collaboration de P. Conil et F. Bouchet



Vérificateur :

Nom : PALVADEAU Eric

Date :

Signature :

Approbateur :

Nom : CONIL Pierre

Date :

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.



Mots clés : littoral, Pays de Monts, Vendée, observatoire, SIG, banque de données, suivi, sédimentologie, géomorphologie, bio-indicateurs, hydrogéologie, érosion, submersion

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : C. Le Guern, P. Fattal, L. Gouguet, V. Baudouin, M. Robin, M. Maanan, F. Debaine, J. Jaouen, R. Renault, M. Juigner, A. Durand, J. Coquin avec la collaboration de P. Conil et F. Bouchet (2012) Observatoire du littoral des Pays de Monts – Rapport d’avancement 2011, Rapport BRGM RP-61098-FR, 88 p.

© BRGM, 2012, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l’autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Face à un constat de recul d'une partie de son trait de côte et de manques de données existantes sur sa frange littorale, la Communauté de Communes Océan-Marais de Monts a décidé en 2009, de créer un « Observatoire du littoral ». Cette structure, par son caractère pérenne, constituera un véritable outil d'aide à la gestion prévisionnelle du trait de côte.

La mise en place de cet observatoire passe par une étroite collaboration entre différents partenaires. D'une part la communauté de communes, qui participe via une contribution financière et technique (achat logiciels et données). D'autre part les partenaires scientifiques, représentés par l'Université de Nantes (IGARUN), l'Office National des Forêts (ONF) et le Bureau des Recherches Géologiques et Minières (BRGM), qui sont en charge de l'état des lieux, la structuration et la mise en forme des données ainsi que la compréhension des phénomènes.

La mise en place de l'observatoire s'est poursuivie en 2011. Elle s'est organisée autour de plusieurs actions, décrites dans ce rapport d'avancement qui synthétise les réalisations des partenaires scientifiques. Ces réalisations ont compris :

- La structuration et l'amélioration du SIG mis en place comme structure support de l'observatoire ;
- Des suivis réguliers de terrain (profils topographiques des plages, contact plage/dunes, espèces patrimoniales, hydrogéologie, ...) ;
- Un début d'interprétation de données et une réflexion sur le rechargement de plages.

Au cours de cette deuxième année de l'observatoire, les objectifs fixés dans le programme scientifique ont été globalement atteints. Les résultats obtenus permettent de poursuivre les recommandations aux gestionnaires du littoral et de dresser les priorités pour la suite.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Rappels sur l’observatoire	11
2.1. CONTEXTE.....	11
2.2. OBJECTIFS	11
2.3. PARTENAIRES	11
2.4. PLAN D’ACTIONS.....	12
3. Méthodologies mises en œuvre	15
3.1. STRUCTURATION ET MISE EN FORME DES DONNEES - ACTION 2.....	15
3.2. SUIVIS REGULIERS : ACQUISITION DE DONNEES DE TERRAIN - ACTION 4	15
3.3. COMPREHENSION DES PHENOMENES - ACTION 5.....	16
4. Structuration et mise en forme du SIG (action 2).....	19
4.1. AMELIORATION DU SIG	19
4.2. TESTS METHODOLOGIQUES ET REDACTION DE PROTOCOLES	21
4.3. OCCUPATION DES SOLS.....	22
5. Suivis réguliers et événementiels : Acquisition de données de terrain (action 4)	25
5.1. PROFILS TOPOGRAPHIQUES DE PLAGE.....	25
5.2. GRANULOMETRIE ET MINERALOGIE DES SABLES DE PLAGE ET DE DUNE	28
5.3. CONTACT PLAGE/DUNE	29
5.4. ESPECES PATRIMONIALES.....	29
5.5. HYDROGEOLOGIE : SOURCES DE PLAGE	31
6. Compréhension des phénomènes (action 5)	33
6.1. ORIGINE DES SABLES DE PLAGE ET DE DUNE	33

6.2. EVOLUTION DES DUNES – DE 1971 A 2009	34
6.3. DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE	36
7. Recherche de matériaux de rechargement de plage ou de dune.....	41
8. Conclusion.....	47
9. Bibliographie	49

Liste des illustrations

Illustration 1 : Schématisation des actions engagées pour mettre en place l'observatoire du littoral des Pays de Monts	13
Illustration 2 : Structuration du SIG de l'observatoire du littoral des Pays de Monts à fin 2011	20
Illustration 3 : Exemple de lien entre une couche d'information spatiale et des tables de résultats – Surligné en bleu, le puits piézométrique 14 sélectionné et les résultats associés aux 2 dates de relevés (Jaouen, BRGM, 2011).	21
Illustration 4 : Occupation des sols (hors dunes et plages) sur le littoral de la Communauté de Communes Océan-Marais de Monts (Coquin, IGARUN, 2011)	23
Illustration 5 : Détail de l'occupation des sols dans le secteur de l'hippodrome (Coquin, IGARUN, 2011).....	23
Illustration 6 : Exemple de compilation de l'occupation des sols (urbanisation et dunes) (Coquin, IGARUN, 2011)	24
Illustration 7 : Localisation des profils de plage réalisés en avril et septembre 2011.....	26
Illustration 8 : Comparaison des profils de plage du profil 12 (plage du Pont d'Yeu, devant l'hippodrome) au cours du temps, ramené à un point de référence situé dans la dune (Jaouen, BRGM, mai 2011).	27
Illustration 9 : Hauteurs d'eau moyennes au niveau du profil de plage 12 (plage du Pont d'Yeu, devant l'hippodrome) avec l'endroit du trait de côte (TC) et des hautes mers de vive eau (LMVE) relevés en avril 2011 (Jaouen, BRGM, mai 2011).	27
Illustration 10 : Variation du d50 du nord vers le sud en milieu de plage. Comparatif 2010/2011 (Renault, BRGM, 2011)	29
Illustration 11 : Exemple de répartition des espèces patrimoniales (faune, flore) relevés en 2011, comparé au type de contact plage/dune (ONF, 2011)	30
Illustration 12 : Exemple de source de plage, sur la plage de la Bergère (crédit photo : Jaouen, BRGM, février 2011).	31
Illustration 13 : Cartographie (par DGPS) de la ligne des sources de plage du Pont d'Yeu, BRGM, levés de février 2011.	32

Illustration 14 : Construction récente des dunes à partir de flèches sableuses (Renault, BRGM, 2011), schématisée sur un extrait de la carte géologique du Massif armoricain au 1/250 000 (Chantraine et al. 2004)	34
Illustration 15 : Evolution entre 1971 et 2009 de l'occupation du sol de la dune à l'arrière des plages du Pont d'Yeu et du Mûrier	35
Illustration 16 : Type d'évolution de l'occupation du sol au Pont d'Yeu entre 1971 et 2009 (Durand, IGARUN-ONF, 2011)	35
Illustration 17 : Influence de la canalisation des flux touristiques au niveau du parking de la plage du Pont d'Yeu sur l'évolution entre 1971 et 2009 de l'occupation du sol de la dune (Durand, IGARUN-ONF, 2011)	36
Illustration 18 : Découpage systématique du linéaire côtier en vue de l'interprétation de l'évolution du trait de côte par période de temps (Juigner, IGRUN, 2011)	37
Illustration 19 : Segmentation et évolution pluri-décennale du trait de côte entre 1920 et 2009 (discrétisation par écart-type à partir de transects recoupant les traits de côte à différentes périodes (Juigner, IGARUN, 2011)	38
Illustration 20 : Synthèse de l'évolution du trait de côte entre 2006 et 2009 le long du linéaire côtier des Pays de Monts obtenue par la méthode des tampons (Jaouen, BRGM, 2011)	39
Illustration 21 : Gains et pertes de sédiments par une plage (Paskoff, 1998)	39
Illustration 22 : Analyse par secteur des tendances d'évolution du trait de côte par période entre 1920-2009 (taux moyennés)	40
Illustration 23 : Comparatif des caractéristiques du sable du banc de la Grande Côte avec celles du sable de la plage de la Tonnelle (données OLPM, Renault, BRGM, 2011)	43
Illustration 24 : Comparatif des caractéristiques granulométriques des matériaux prélevés lors du dragage du chenal en juin 2011 par le Conseil Général de Vendée avec celles du sable de la plage de la Tonnelle (Renault, BRGM, 2011)	44
Illustration 25 : Cartes d'anciens prélèvements en mer (DHI-Geos, 2008) et comparaison des propriétés granulométriques avec le sable de la plage de la Tonnelle (Renault, BRGM, 2011)	45
Illustration 26 : Exemple de matériau grossier prélevé lors du dragage du chenal de Fromentine	46
Illustration 27 : Exemples de données produites, interrogeables dans le SIG	47
Tableau 1 - Liste des actions engagées pour mettre en place et faire vivre l'observatoire du littoral des Pays de Monts.	12
Tableau 2 : Liste des relevés réalisés en 2011 dans le cadre de l'action 4 – Acquisition de données de terrain - Suivi régulier, fréquence associée et acteurs	16
Tableau 3 : Liste des tâches réalisées en 2011 dans le cadre de l'action 5 – Compréhension des phénomènes, et répartition entre partenaires scientifiques	17
Tableau 4 : Hauteurs d'eau moyennes mesurées au niveau de Saint-Gilles-Croix-de-Vie (sources : SHOM).	28

Tableau 5 : Historique des rechargements de plage d'après enquête auprès des mairies (Renault, BRGM, 2011)	42
Tableau 6 : Adéquation du matériau avec un rechargement de la plage de la Tonnelle	46
Tableau 7 : Caractéristiques granulométriques de la fraction inférieure à 0.08 mm (Renault, BRGM, 2011)	86

Liste des annexes

Annexe 1 Description méthodologique pour l'exploitation d'une collection de traits de côte	51
Annexe 2 Granulométrie des matériaux de dragage du chenal de Fromentine (2011)	57

1. Introduction

Dans un contexte général d'érosion littorale (1/4 côtes françaises métropolitaines, IFEN 2007), en corrélation avec l'attractivité toujours plus importante des zones côtières, les collectivités cherchent désormais à prendre en compte le risque dans leur politique de développement territorial. Cela passe tout d'abord par une connaissance approfondie des forçages naturels pouvant affecter le milieu et leurs conséquences, afin de prévoir et de prendre en compte les tendances d'évolution du trait de côte.

Cette connaissance approfondie s'avère nécessaire pour ne pas reproduire les erreurs encore trop fréquentes de gestion du littoral. Ainsi, faute d'une compréhension des interactions et d'une vision suffisamment globale du littoral, les solutions de gestion mises en œuvre dans le passé (épis, enrochement...), et encore récemment, reportent souvent les problèmes d'érosion sur le territoire voisin. Elles peuvent en fait empirer le problème global d'érosion. Il apparaît ainsi nécessaire de comprendre le présent, pour anticiper le futur.

Les problèmes d'érosion devraient par ailleurs se renforcer sous l'effet du changement climatique. Dans le cadre de celui-ci, il est en effet présagé à l'horizon 2100 une élévation du niveau des mers et une augmentation de la fréquence et de la force des tempêtes. L'ONERC retient des scénarios d'élévation du niveau des mers compris entre 0,4 à 0,6 m, avec un extrême à 1 m (ONERC, 2010). Du fait du changement climatique, les risques liés à l'érosion et à la submersion marine devraient ainsi croître.

Face à ces problèmes (érosion, submersion marine), il est important de gérer au mieux le territoire. Dans ce cadre, l'approche géosystémique a été préconisée intégrant le territoire, ses enjeux et ses acteurs.

Dans un contexte d'émergence des problématiques environnementales et du concept de Développement Durable au cours des années 1990, la planification en zones côtières s'est avérée plus complexe qu'ailleurs. En effet, « la multiplicité des usages, conjuguée à la fragilité des composantes environnementales peut entraîner des situations critiques dont la résolution implique des mesures concrètes de gestion » (Gou, 2005). C'est ainsi que le concept de Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) a vu le jour. Il consiste à rechercher un certain équilibre dans les priorités d'action, en adoptant une approche de l'espace plus dynamique et intégrée.

Face à un constat de recul d'une partie de son trait de côte et au manque de données existantes sur sa frange littorale, la Communauté de Communes Océan-Marais de Monts a décidé en 2009, de créer un « Observatoire du littoral ». Cette structure, par son caractère pérenne, constituera un véritable outil d'aide à la gestion prévisionnelle du trait de côte.

La mise en place de cet observatoire passe par une étroite collaboration entre différents partenaires. D'une part la communauté de communes, qui assure la maîtrise d'ouvrage, et participe via une contribution financière et technique (achat logiciels et

données). D'autre part les partenaires scientifiques et techniques, représentés par l'Université de Nantes (IGARUN), l'Office National des Forêts (ONF) et le BRGM, qui sont en charge de l'état des lieux, de la structuration et de la mise en forme des données ainsi que de la compréhension des phénomènes.

Le présent rapport retrace la deuxième année de vie de l'observatoire, avec les actions menées durant l'année 2011.

2. Rappels sur l'observatoire

2.1. CONTEXTE

La Communauté de Communes Océan – Marais de Monts a la compétence territoriale pour œuvrer dans la gestion du littoral. Ayant constaté un recul rapide du trait de côte ces dernières années en lien avec une érosion marine, elle a décidé la mise en place d'un observatoire sur la totalité de sa frange littorale, soit 19,5 km. Cette structure vise, par une meilleure connaissance des phénomènes d'évolution et des tendances, à instaurer un véritable outil d'aide à la décision.

La démarche Observatoire du Littoral, telle qu'engagée depuis 2010 par la Communauté de Communes Océan - Marais de Monts apparaît comme exemplaire dans ce domaine, et le souhait des services publics est de coordonner ces initiatives locales en les généralisant à l'ensemble du littoral national.

2.2. OBJECTIFS

Les objectifs généraux de l'observatoire sont les suivants :

- Elaborer un outil permettant une meilleure connaissance des phénomènes et des interactions sur le littoral ;
- Construire un élément d'aide à la gestion prévisionnelle de la côte de la Communauté de Communes Océan – Marais de Monts, notamment dans le cadre de l'entretien des ouvrages hydrauliques (digues de la Barre de Monts...), dunes ;
- Etablir un point régulier de la qualité écologique (faune et flore) des milieux côtiers ;
- Suivre le littoral en établissant des préconisations en matière d'aménagement et d'entretien ;
- Identifier l'observatoire comme interlocuteur privilégié pour la problématique littorale sur ce territoire ;
- Valider et affiner les études globales.

2.3. PARTENAIRES

La collectivité s'est associée à des partenaires scientifiques et techniques : Université de Nantes (IGARUN), ONF, BRGM. L'ONF et le BRGM bénéficient déjà d'une expérience commune d'observatoire (Aquitaine). L'Université de Nantes est quant à elle impliquée dans des projets de recherche et dans la formation d'étudiants sur la cartographie des espaces à forte contrainte, et la gestion du littoral (actions sur les Sables d'Olonne notamment).

Ces partenaires s'avèrent très complémentaires. L'ONF est spécialiste de la gestion des dunes et de la biodiversité. L'Université de Nantes dispose de compétences en géographie physique et humaine, ainsi qu'en cartographie. Le BRGM apporte ses compétences en sédimentologie, hydrogéologie, bases de données, morphodynamique (analyse des processus et modélisation) et cartographie.

2.4. PLAN D' ACTIONS

Pour mettre en place et faire vivre l'observatoire dans le temps, un ensemble d'actions ont été envisagées, certaines réalisées directement par la Communauté de Commune (tel l'achat de licences, nécessaires pour disposer de certaines données), d'autres par les partenaires scientifiques.

L'état des lieux, la structuration et la mise en forme des données, la compréhension des phénomènes (cf. Illustration 1) sont ainsi à la charge des partenaires scientifiques, également à disposition pour des actions ponctuelles de conseil et d'expertise. Le plan d'actions a été décliné en 7 actions, dont l'échéancier prévisionnel est détaillé dans le Tableau 1.

En particulier, les tâches réalisées entre mars 2011 et mars 2012 concernent les actions 2, 4 et 5.

N° Action	Titre Action	Année de réalisation proposée
1	Etat des connaissances	2010
2	Structuration et mise en forme des données	2010-2011
3	Etat zéro : acquisition des données	2010
4	Suivis : acquisition des données	2011 et suivantes
5	Compréhension des phénomènes	2011 et suivantes
6	Conseil et expertise	2010 et suivantes
7	Vie de l'observatoire	2010 et suivantes

Tableau 1 - Liste des actions engagées pour mettre en place et faire vivre l'observatoire du littoral des Pays de Monts.

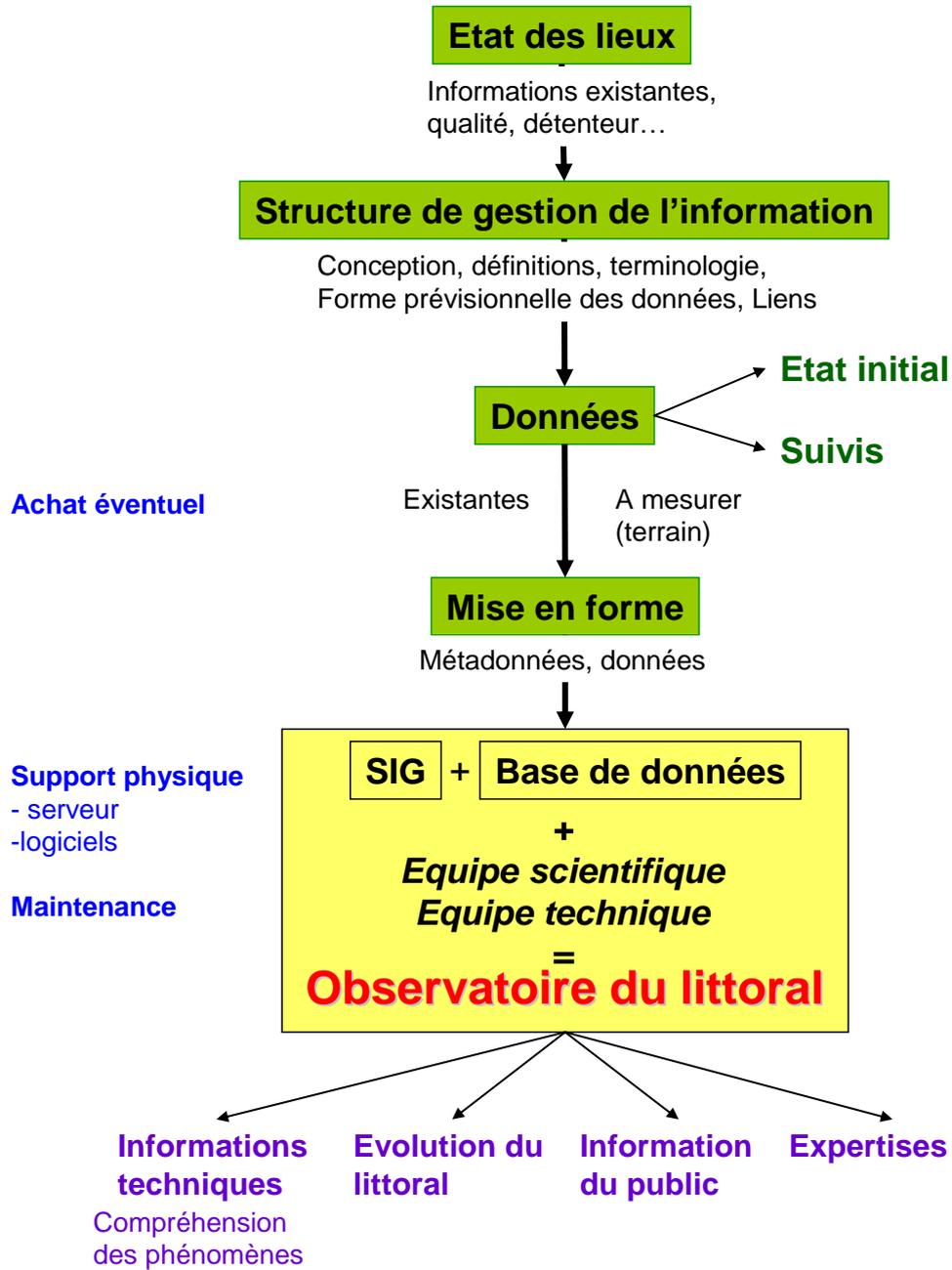


Illustration 1 : Schématisation des actions engagées pour mettre en place l'observatoire du littoral des Pays de Monts

3. Méthodologies mises en œuvre

Comme évoqué au chapitre précédent, la mise en place de l'observatoire s'organise autour de plusieurs actions. Les méthodologies correspondant aux principales actions réalisées en 2011 sont détaillées ci-après.

3.1. STRUCTURATION ET MISE EN FORME DES DONNEES - ACTION 2

La structuration et la mise en forme des données, entamées en 2010, ont été poursuivies en 2011. Dans ce cadre, le BRGM, avec le soutien de l'IGARUN, a travaillé à l'amélioration de la structure interne du SIG et à la mise en place des liens entre données. Ces liens sont indispensables pour permettre l'interrogation des données. Des tests d'interrogations ont également été menés. En outre, l'IGARUN, avec le soutien du BRGM, a mis en place une base de données géoréférencée d'occupation des sols. Enfin, la gestion et l'intégration des données a été assurée. Une attention particulière a été portée à la possibilité d'intégrer facilement de nouvelles données.

3.2. SUIVIS REGULIERS : ACQUISITION DE DONNEES DE TERRAIN - ACTION 4

Les données de terrain acquises dans le cadre de l'action 4 représentent des suivis réguliers et font suite à l'état initial engagé en 2010 (action 3). Le recueil périodique et événementiel de données nécessaires au fonctionnement de l'observatoire et à la délivrance d'une expertise régulière et actualisée prévoit :

- des mesures annuelles de certaines formes de la plage et du cordon dunaire indiquant les évolutions lentes du système et permettant de définir les états d'équilibre des plages et des tendances évolutives,
- un suivi périodique des espèces et communautés végétales à caractère indicateur de la dynamique littorale,
- des mesures occasionnelles des faciès de plage et de front dunaire suite aux événements brutaux qui ont un effet majeur sur l'évolution morphologique de ces milieux,
- un suivi des eaux souterraines.

Ainsi, les profils de plage ont été reconduits aux mêmes endroits, et complétés par 3 nouveaux profils. La granulométrie des sables de plage a été complétée par une analyse minéralogique. Le contact plage/dune et différents bio-indicateurs ont été relevés. En outre, l'évolution de la végétation des dunes et des cordons dunaires a été regardée. Enfin, une première approche des sources de plage a été menée. La répartition des tâches par partenaire scientifique est détaillée dans le Tableau 2.

Type de relevé	Thème	Fréquence	Période	Acteur
Formes	Contact plage/dune*	2 fois /an	Avril et septembre	ONF
	* événementiel	En tant que de besoin	Après tempêtes hivernales	
	Topographie des plages (profils)	2 fois /an	Avril et septembre	IGARUN BRGM ONF
Biodiversité	Gravelot	1 fois /an	Juin	ONF
	Plantes patrimoniales (<i>Polygonum maritimum</i> , <i>Eryngium maritimum</i> , <i>Dianthus gallicus</i> ...)		Juin	ONF, IGARUN
	<i>Euphorbia Peplis</i>		septembre	ONF
Autres relevés	Eaux souterraines (piézométrie, sources de plage)		Fév-mars (hautes eaux)	BRGM
	Granulométrie et minéralogie des sables de plage et de dune	2 fois /an	Avril et septembre	BRGM IGARUN

Tableau 2 : Liste des relevés réalisés en 2011 dans le cadre de l'action 4 – Acquisition de données de terrain - Suivi régulier, fréquence associée et acteurs

3.3. COMPREHENSION DES PHENOMENES - ACTION 5

La compréhension des phénomènes est nécessaire pour établir des diagnostics et aider à la gestion du territoire. Ainsi, des premières interprétations ont été entamées en 2011, pour tenter de déterminer l'origine des sables de plage et de dune, analyser l'évolution des dunes dans le temps, et apporter des éléments relatifs à la dynamique sédimentaire. La répartition des tâches par partenaire scientifique est détaillée dans le Tableau 3. Compte-tenu des attentes et besoins exprimés par les représentants de la Communauté de Communes, un travail spécifique a été mené en sus vis-à-vis du rechargement des plages (ou dunes), avec une caractérisation de matériaux locaux susceptibles de pouvoir servir au rechargement.

Nom tâche	Description	Acteur
Origine des sables de plage et de dune	Comparaison et interprétation des données (cf. action 4)	BRGM
Evolution des dunes	Interprétation des données de suivi acquises (évolution de la végétation...)	ONF, IGRUN
Dynamique sédimentaire	Interprétation des données collectées	IGARUN BRGM
Recherche de matériaux de rechargement de plage ou de dune		BRGM, IGARUN

Tableau 3 : Liste des tâches réalisées en 2011 dans le cadre de l'action 5 – Compréhension des phénomènes, et répartition entre partenaires scientifiques

4. Structuration et mise en forme du SIG (action 2)

Pour répondre aux objectifs d'organisation, d'analyse et de diffusion des données de l'observatoire, un Système d'Information Géographique (SIG) s'est vu être l'outil le plus approprié. Dans le cadre de l'OLPM, il doit permettre de gérer les données en permettant leur archivage, leur visualisation, leur traitement, leur mise à jour et l'ajout de nouvelles données. Parmi les objectifs fixés figurent ainsi :

- une visualisation rapide des données disponibles,
- un archivage cohérent du grand nombre de données de sources variées,
- la mise à jour des données et la possibilité d'intégrer facilement de nouvelles données,
- la mise en relation entre données,
- la réalisation de requêtes et d'analyses spatiales,
- la valorisation par des traitements thématiques (conception de cartes, analyses multi-échelles, suivi de la frange littorale sur le long terme),
- la diffusion de l'information et une aide à la décision en matière de gestion et d'aménagement du territoire.

La banque de données, élément central du SIG, doit être organisée de manière à garantir l'efficacité de celui-ci. Les objectifs exprimés ci-dessus ont donc été intégrés lors de sa conception.

4.1. AMELIORATION DU SIG

En 2010, une première structuration des données a été menée, et une partie des données collectées a été intégrée. La construction du SIG a été poursuivie en 2011. Dans ce cadre, elle a compris :

- La conversion des coordonnées géographiques des données géoréférencées depuis le système de projection Lambert 2 étendu (NTF) vers le Lambert93 (RGF93). Dans ce cadre, la fonction « projections et transformations » de l'outil gestion de données ArcToolbox a été utilisé. Le RGF93 est en effet le référentiel officiel, utilisé pour l'interopérabilité des données.
- L'amélioration de la structure du SIG. La structure obtenue est précisée dans Illustration 2.

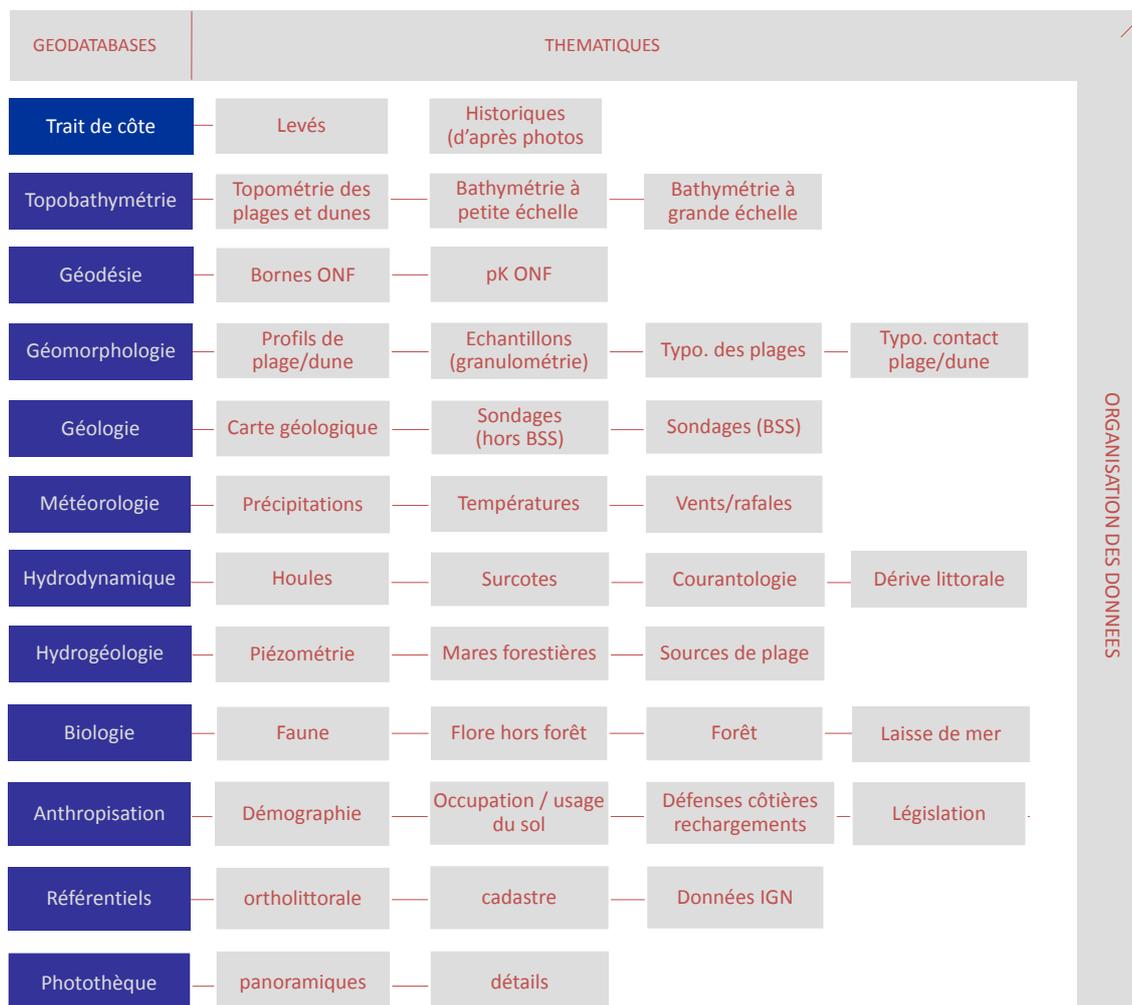


Illustration 2 : Structuration du SIG de l'observatoire du littoral des Pays de Monts à fin 2011

- L'ajout et la mise à jour de données : de nouvelles géodatabases relatives à la toponymie, à la biologie et à l'occupation du sol ont ainsi été ajoutées. Compte-tenu de l'ampleur du travail pour la mise en place de la géodatabase « Occupation des Sols », un chapitre lui est dédié (cf. § 4.3).
- La gestion des photos : pour renommer et classer les photos, le logiciel IrFanView a été choisi et le format « AAAA_MM_JJ_ville_plage » adopté pour nommer les photos. Pour gérer les photos (mise à jour, rangement par thème ou date ou encore recherche par mots clés), le logiciel ACDSee Photo Manager a été utilisé suite au retour d'expérience de l'Observatoire de la Côte Aquitaine (OCA). Convivial, il facilite l'organisation et le partage des photos (possible sur Internet).
- Métadonnées : le renseignement des métadonnées a été poursuivi selon la norme ISO19115 et le protocole défini en 2010.

- Liens entre données : des classes de relations ont été créées entre certaines couches d'information (shapefiles) et des tables de résultats (piézométrie ou climat par exemple) sous ArcCatalog. Ceci permet de visualiser, sous ArcMap, les résultats pour un objet particulier de la carte (Illustration 3). Par ailleurs, des liens hypertextes ont été ajoutés, pour des photos ou des logs de forage par exemple. Sous ArcMap, lors de l'identification de points, lorsqu'on clique sur le lien hypertexte, le document correspondant s'ouvre dans une fenêtre de la visionneuse Windows.

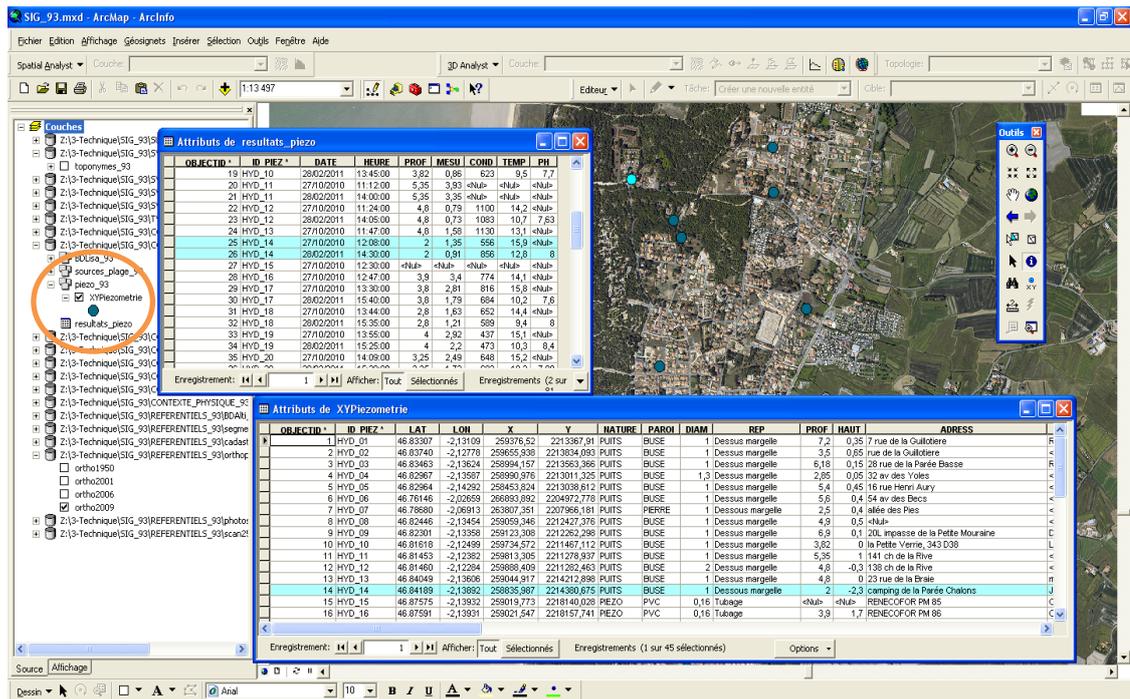


Illustration 3 : Exemple de lien entre une couche d'information spatiale et des tables de résultats – Surligné en bleu, le puits piézométrique 14 sélectionné et les résultats associés aux 2 dates de relevés (Jaouen, BRGM, 2011).

4.2. TESTS METHODOLOGIQUES ET REDACTION DE PROTOCOLES

Des outils et méthodologies (nouveaux ou pas encore exploités dans le cadre de l'observatoire) ont été recherchés pour le traitement des données acquises sur le terrain, tels que les profils de plage et le trait de côte. Ces méthodologies proviennent notamment d'un retour d'expérience d'autres observatoires du littoral ou de la recherche bibliographique. Il ne s'agit pas dans ce cadre de faire des interprétations poussées des résultats mais seulement de comparer des méthodes de traitements.

La rédaction de protocoles et de méthodologies a été poursuivie avec des créations et des mises à jour :

- Protocole de gestion des photos de l'OLPM avec les logiciels IrFanView et ACDSsee.
- Protocole pour le relevé du trait de côte avec grille à remplir sur le terrain, structurée comme ci-dessous. Dans ce cadre, une typologie du trait de côte a été définie en concertation entre partenaires (Annexe 1).

date	numéro du point	groupe de points semblables	numéro de la photo	type de TC (1,2,3,4,5 ou 6)	morphologie (banquette, DE, micro falaise)	vegetation (éparse, absente, ponctuelle)	nature des végétaux	présence ou pas de galets et débris coquilliers	amenagements (cale, remblai, clôture, accès pietons, poste)	Remarque supplémentaire
------	-----------------	-----------------------------	--------------------	-----------------------------	--	--	---------------------	---	---	-------------------------

- Mise à jour du guide méthodologique pour l'utilisation du SIG de l'OLPM (tables de description des champs, intégration des nouveaux protocoles)
- Réalisation de formulaires sous Access pour trouver des données dans la base de données de l'OLPM.
- Protocoles de traitement des données (méthodologie des zones tampons pour l'évolution du trait de côte, graphiques des profils de plages avec la méthode du krigeage sous ArcGis et des graphes sous Excel).

4.3. OCCUPATION DES SOLS

La connaissance et l'évaluation des enjeux socio-économiques apparaissent nécessaires à intégrer pour une gestion opérationnelle du trait de côte. Dans ce cadre une base de données d'occupation du sol a été renseignée à la parcelle cadastrale, en exploitant notamment les apports du couplage télédétection-SIG. Les valeurs affectées à chaque parcelle correspondent à une nomenclature d'occupation du sol déclinée en 27 thèmes (Illustrations 4 à 6). A chaque thème d'occupation des sols défini est associée une valeur d'enjeu potentiel. Les résultats ont été discutés et les limites d'usages relatives à la démarche évoquées. Il s'agit ici d'une première contribution, qui mériterait d'être complétée et mise à jour.

Une méthodologie d'analyse d'image dite orientée-objet a été mise également en place sur la BD ORTHO de l'IGN. Elle a permis de cibler les usages et les pressions sur le massif dunaire à travers le réseau de sentiers et de chemins. Une méthodologie visant à apprécier la fréquentation des sentiers et leur valeur d'usage est ainsi proposée.

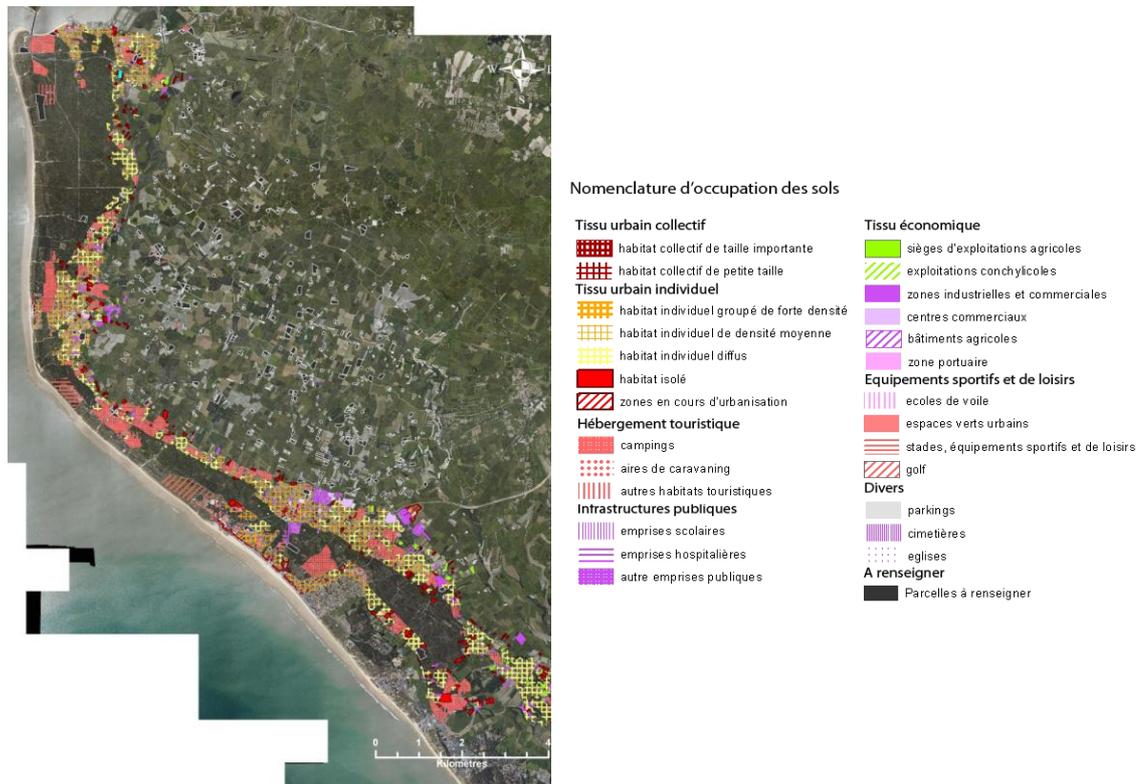


Illustration 4 : Occupation des sols (hors dunes et plages) sur le littoral de la Communauté de Communes Océan-Maraïs de Monts (Coquin, IGARUN, 2011)

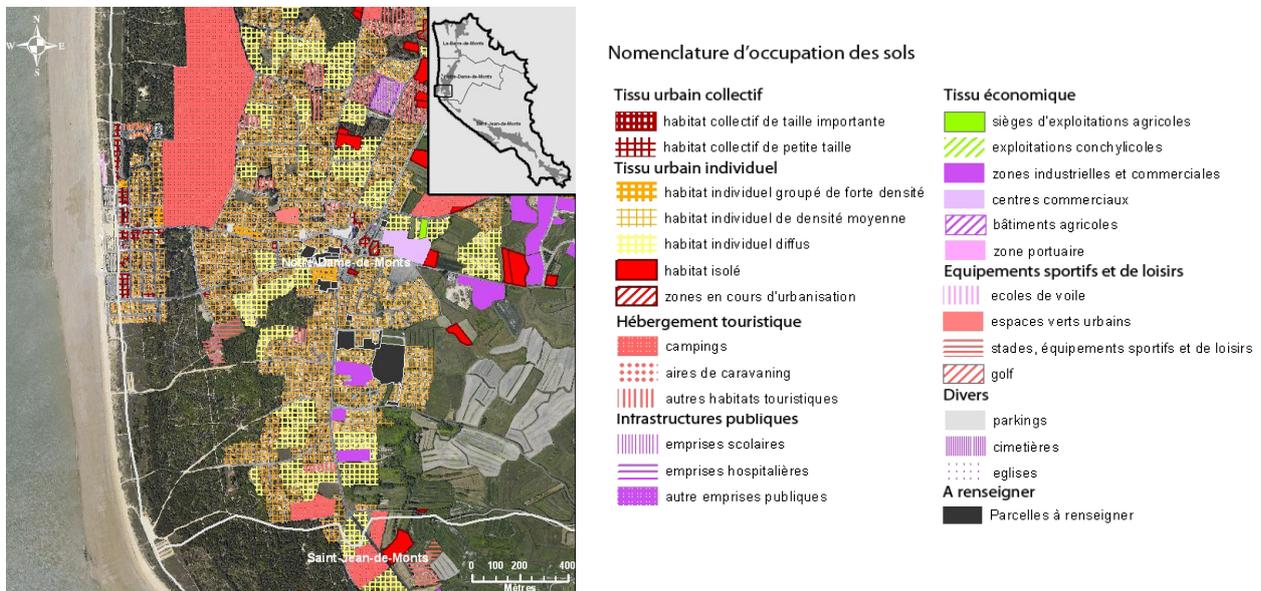


Illustration 5 : Détail de l'occupation des sols dans le secteur de l'hippodrome (Coquin, IGARUN, 2011)

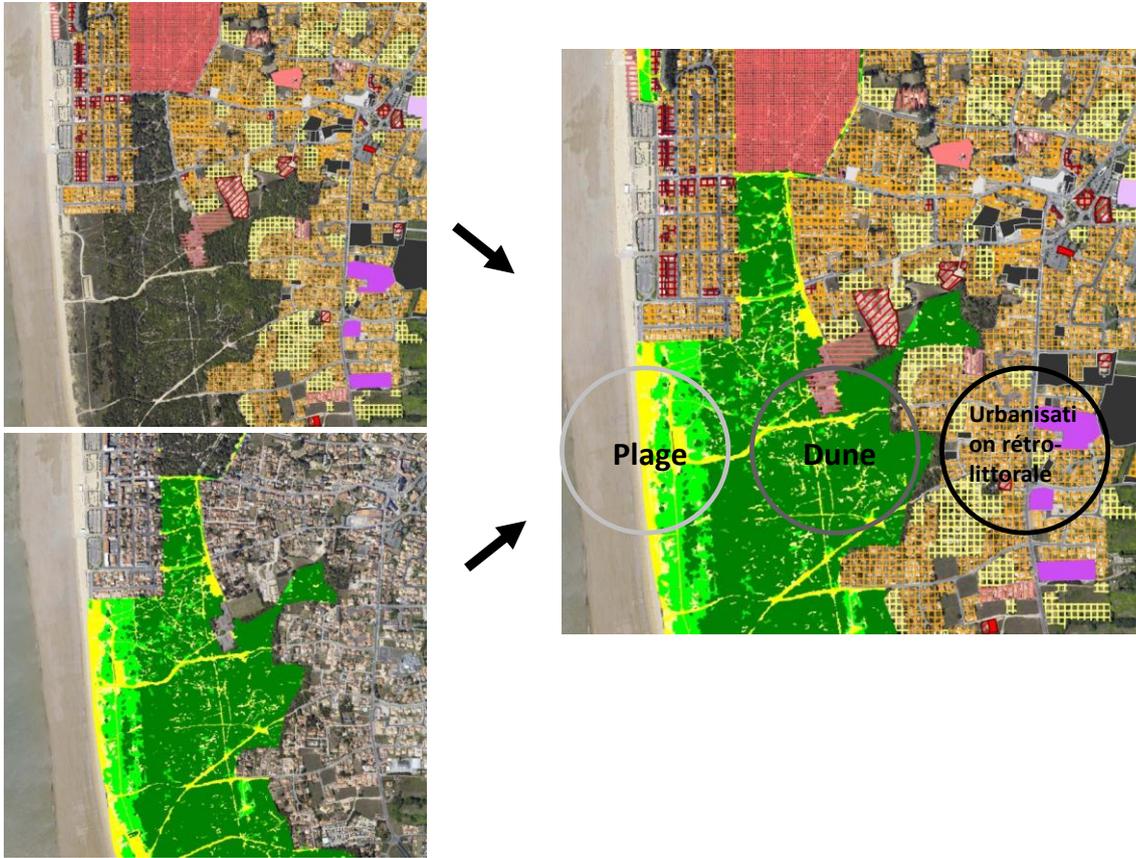


Illustration 6 : Exemple de compilation de l'occupation des sols (urbanisation et dunes) (Coquin, IGARUN, 2011)

5. Suivis réguliers et événementiels : Acquisition de données de terrain (action 4)

Les suivis réguliers et événementiels représentent l'action 4 définie dans la démarche de l'observatoire. Il s'agit d'acquérir des données complémentaires par rapport aux données existantes. Ces suivis, par comparaison avec l'état de référence (cf. Action 3) établi en 2010 (hors bathymétrie), serviront de base à la compréhension des phénomènes, nécessaire pour établir des diagnostics.

5.1. PROFILS TOPOGRAPHIQUES DE PLAGE

En 2010, 19 profils topographiques de plage avaient été réalisés. Le positionnement s'était appuyé sur une segmentation préliminaire du littoral (à partir de l'étude DHI, 2008). La typologie des plages, des contacts plage-dune et les propriétés granulométriques des sables de plage déterminées courant 2010 ont conduit à ajouter 3 profils supplémentaires. L'ensemble des profils levés est présenté dans l'illustration 7.

Les campagnes 2011 ont été réalisées du 18 au 21 avril et du 27 au 29 septembre 2011. Les moyens mis en œuvre sont les mêmes que ceux décrits dans la synthèse des réalisations 2010.

Comme le montre l'illustration 8, quelques évolutions à court terme sont perceptibles. Un suivi sur plusieurs années sera nécessaire pour pouvoir établir des tendances. Il est néanmoins d'ores-et-déjà intéressant de comparer les profils avec les hauteurs d'eau moyennes (Illustration 9, Tableau 4).

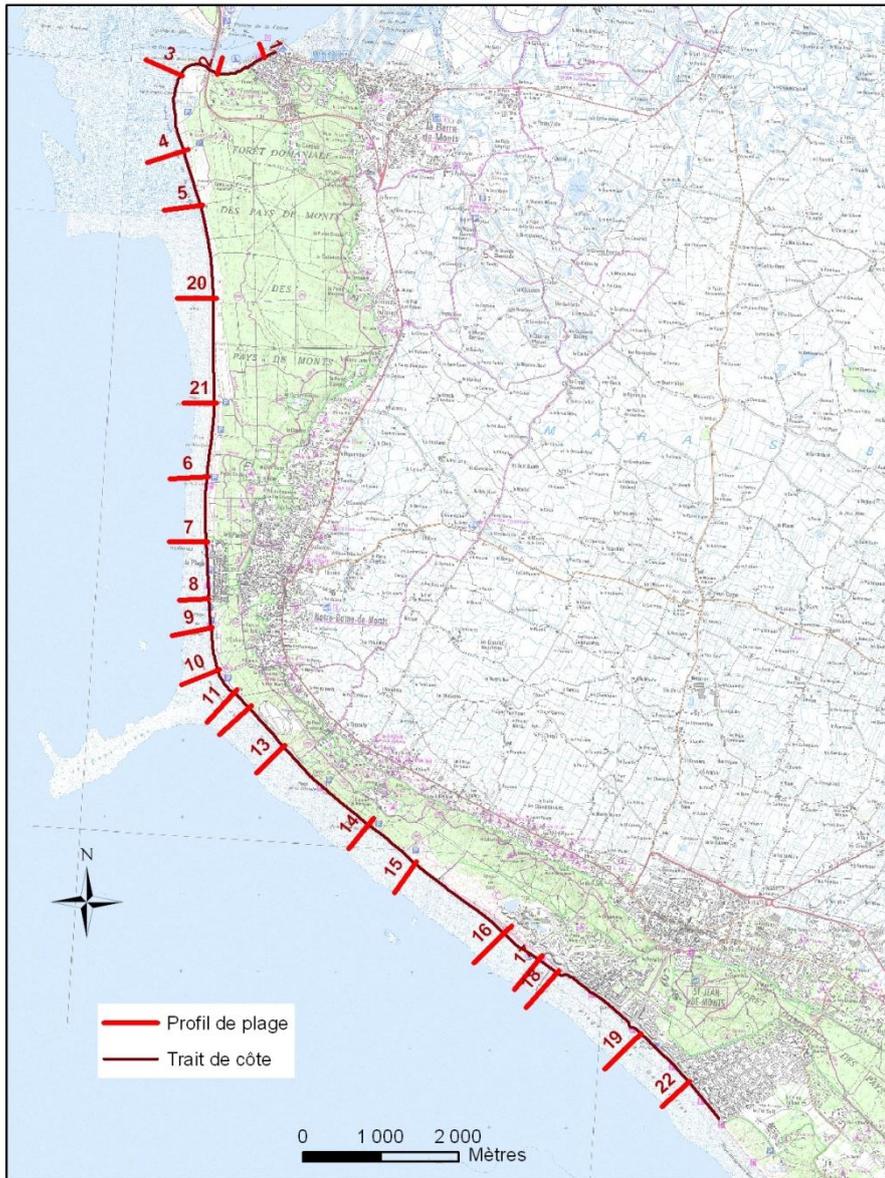


Illustration 7 : Localisation des profils de plage réalisés en avril et septembre 2011

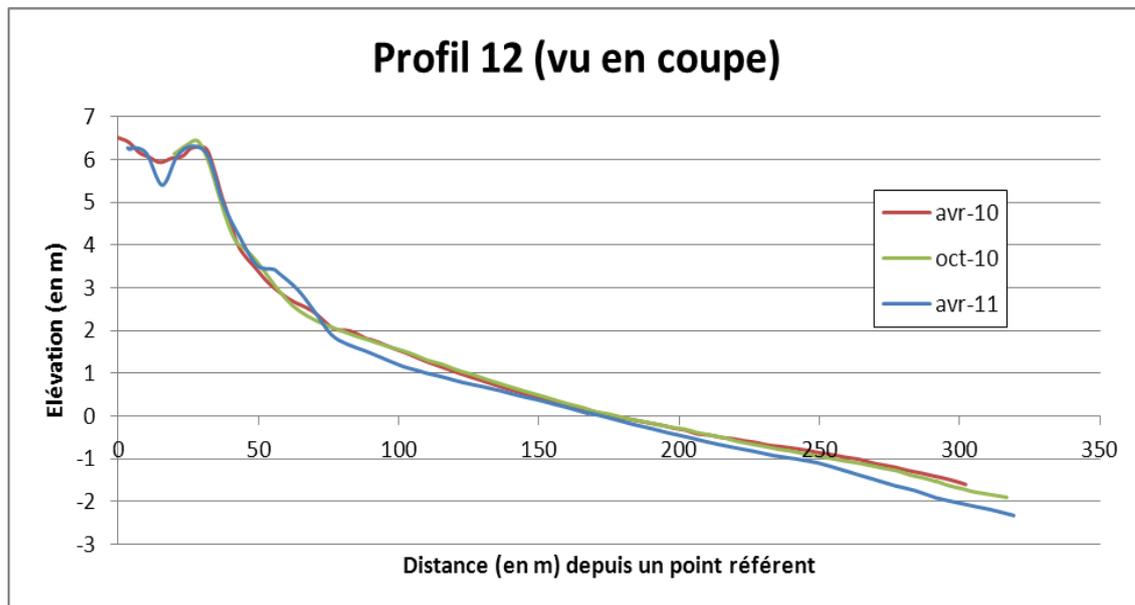


Illustration 8 : Comparaison des profils de plage du profil 12 (plage du Pont d'Yeu, devant l'hippodrome) au cours du temps, ramené à un point de référence situé dans la dune (Jaouen, BRGM, mai 2011).

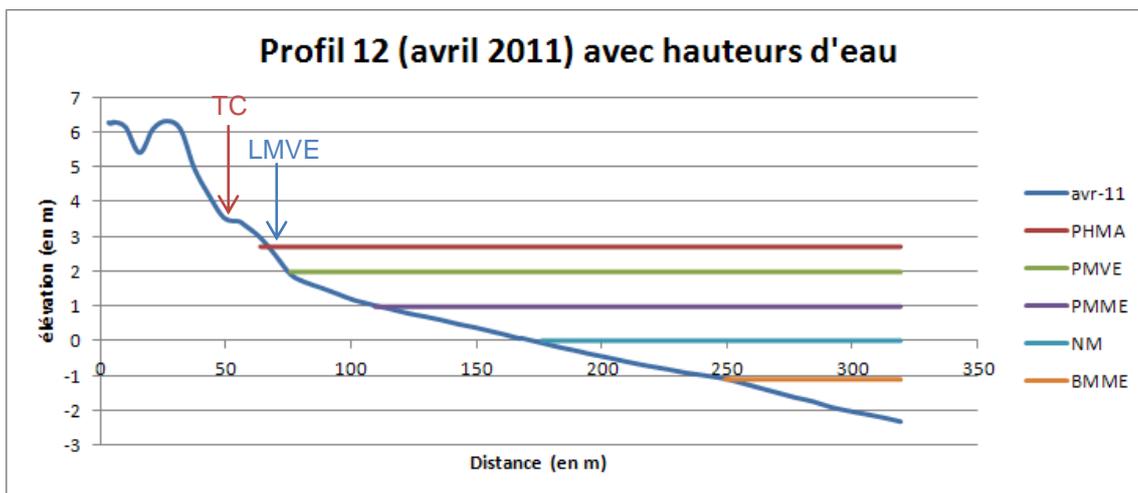


Illustration 9 : Hauteurs d'eau moyennes au niveau du profil de plage 12 (plage du Pont d'Yeu, devant l'hippodrome) avec l'endroit du trait de côte (TC) et des laisses de mer de vive eau (LMVE) relevés en avril 2011 (Jaouen, BRGM, mai 2011).

PHMA	plus haute mer astronomique	coef 120	270 cm
PMVE	pleine mer de vive eau	coef 90	197cm
PMME	pleine mer de morte eau	coef 60	98cm
NM	niveau moyen		0 IGN
BMME	basse mer de morte eau	coef 60	-112cm
BMVE	basse mer de vive eau	coef 45	-242cm
PBMA	plus basse mer astronomique	coef 20	-316cm

Tableau 4 : Hauteurs d'eau moyennes mesurées au niveau de Saint-Gilles-Croix-de-Vie (sources : SHOM).

5.2. GRANULOMETRIE ET MINERALOGIE DES SABLES DE PLAGES ET DE DUNE

Comme en 2010, des sables de plage ont été prélevés le long des 22 profils de plage. Leur granulométrie a été caractérisée, ainsi que leur minéralogie.

Pour la granulométrie, le protocole décrit dans la synthèse des actions 2010 a été utilisé (colonne de tamis). La minéralogie a été déterminée par observation au microscope optique. Elle a été complétée par une caractérisation géochimique par fluorescence X (appareil de terrain, NITON 999).

Les propriétés granulométriques déterminées sur les échantillons prélevés en avril 2011 apparaissent globalement similaires à celles déterminées en mars et octobre 2010 (Illustration 10).

La composition minéralogique des grains apparaît également similaire entre octobre 2010 et avril 2011, avec une présence majoritaire de quartz (environ 65 %) des feldspaths (entre 15 et 30 %), et des calcaires coquilliers (entre 2 et 10 %), des chloritoïdes et micas (jusqu'à 3-4 % respectivement). Les compositions chimiques des matériaux prélevés en octobre 2010 et avril 2011 apparaissent proches aussi.

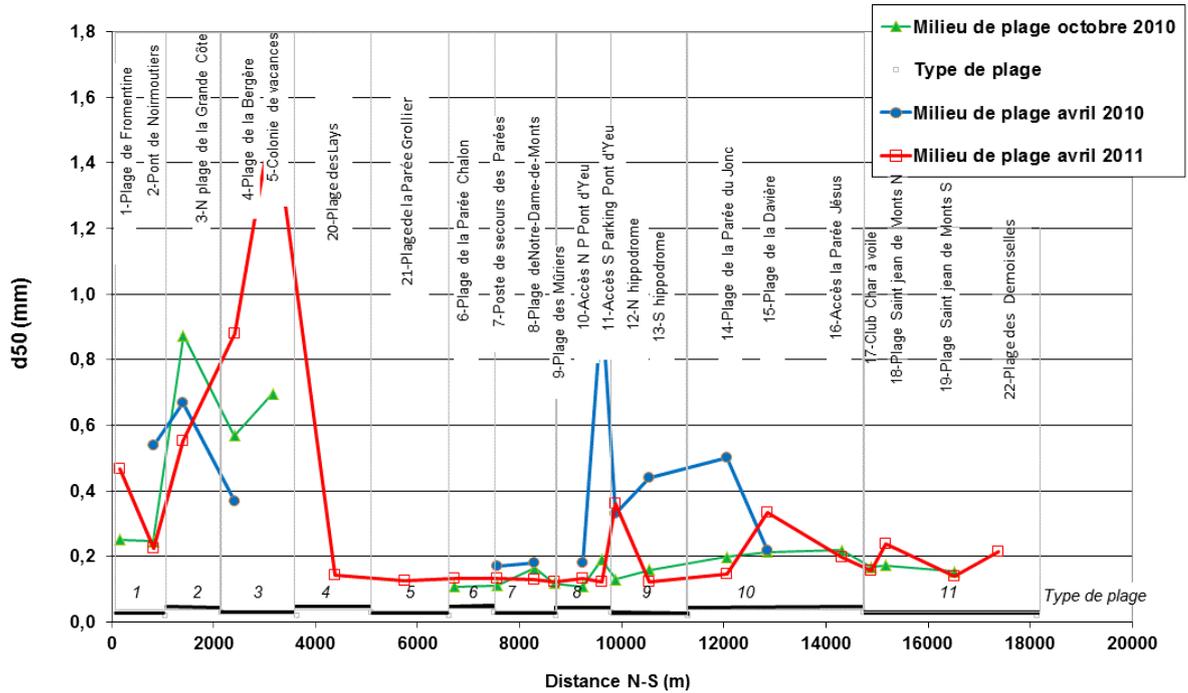


Illustration 10 : Variation du d50 du nord vers le sud en milieu de plage. Comparatif 2010/2011 (Renault, BRGM, 2011)

Du fait du caractère similaire des caractéristiques des sables de plage le long des profils, les prélèvements n’ont pas été reconduits en septembre 2011. Les moyens alloués à cette action ont été reportés sur d’autres aspects, jugés plus prioritaires, comme la recherche de matériaux potentiellement utilisables pour le rechargement de plage (ou de dune). Dans ce cadre, des sables du banc de la Grande Côte et des matériaux de dragage du goulet de Fromentine ont été prélevés et caractérisés (cf. § 6).

5.3. CONTACT PLAGE/DUNE

Les relevés de terrain relatifs au contact plage/dune ont été réalisés en avril et septembre 2011 selon les protocoles décrits dans le rapport de synthèse 2010.

5.4. ESPECES PATRIMONIALES

Les levés de terrain ont été effectués en juin pour le Gravelot (oiseau), et les plantes patrimoniales suivantes : *Polygonum maritimum*, *Eryngium maritimum*, *Dianthus gallicus*..., et en septembre pour *Euphorbia Peplis*.

Les dispositifs de protection de la dune ont également été repérés à cette occasion.

L’illustration 11 montre un exemple de répartition de ces espèces patrimoniales, et du type de contact plage/dune observé lors des relevés.



Illustration 11 : Exemple de répartition des espèces patrimoniales (faune, flore) relevés en 2011, comparé au type de contact plage/dune (ONF, 2011)

5.5. HYDROGEOLOGIE : SOURCES DE PLAGE

Les eaux souterraines présentes dans la dune jouent divers rôles : stabilité de la végétation dunaire, protection contre l'érosion marine et éolienne (cohésion), participation à l'érosion du sable de plage (vidange de chenaux, cohésion).

La nappe des dunes a été étudiée par deux approches différentes : des relevés piézométriques (suite des levés effectués en période de basses eaux en octobre 2010) et l'étude de la ligne de sources de plage le long du trait de côte. Les mesures de terrain ont été effectuées fin février – début mars 2011, en période de hautes eaux (souterraines continentales) pour la piézométrie, et par faible coefficient de marée (entre 60 et 70) pour la ligne de source.

Compte-tenu des moyens disponibles, la ligne de sources (exemple en Illustration 12) a été cartographiée sur environ 7 km en 2 endroits distincts : au nord du pont d'Yeu (de la plage de la Grande Côte à la plage des Régates) et sur la plage du pont d'Yeu (Illustration 13).

La localisation des sources permet d'avoir une idée de l'axe, limite transversale, de la nappe des dunes. La ligne des sources apparaît discontinue et hétérogène. Si elle est très nette par endroit, elle est peu importante, voire inexistante à d'autres endroits.

La conductivité de ces sources a montré un écoulement d'eau salée au moment des mesures. Un suivi de conductivité en différents endroits le temps d'une marée permettrait de vérifier si une évacuation d'eau douce, signe d'une décharge de la nappe phréatique des dunes, se produit.



Illustration 12 : Exemple de source de plage, sur la plage de la Bergère (crédit photo : Jaouen, BRGM, février 2011).



Illustration 13 : Cartographie (par DGPS) de la ligne des sources de plage du Pont d'Yeu, BRGM, levés de février 2011.

Les données récoltées par le DGPS ont été traitées et intégrées à la géodatabase « Hydrogéologie » du SIG de l'OLPM.

6. Compréhension des phénomènes (action 5)

Dans le cadre de cette action, une ébauche d'interprétation des données acquises a été menée. Cette action, qui sera complétée en 2012 et poursuivie au fur et à mesure de l'acquisition des données, vise à apporter des éléments de compréhension des phénomènes prépondérants dans l'évolution du trait de côte du secteur concerné. Cette compréhension des phénomènes est nécessaire pour établir des diagnostics et aider à la gestion du territoire.

6.1. ORIGINE DES SABLES DE PLAGES ET DE DUNE

L'origine des sables de plages et de dune vise à apporter des éléments de compréhension de la dynamique sédimentaire.

Dans un premier temps, une synthèse bibliographique de l'histoire géologique des Pays de Monts a été réalisée. Elle retrace la morphologie des lieux à la fin de l'âge tertiaire, l'évolution du relief et les impacts de la glaciation à l'ère Quaternaire, et la mise en place des formes actuelles.

Les dunes apparaissent ainsi récentes et éphémères à l'échelle des temps géologiques. Elles se sont formées par la jonction de 3 flèches sableuses, accrochées sur des promontoires rocheux (Illustration 14), il y a environ 4500 ans. L'ancien exutoire du marais, s'est colmaté très récemment (XVIII^{ème} siècle). La remontée du niveau marin (plus de 3 mm/an observés par satellite entre 1990 et 2006 (Rahmstorf *et al.*, 2007), prévision d'une montée de 0,4 à 1 m à l'horizon 2100 selon l'ONERC, 2010) laisse présager une accentuation des phénomènes d'érosion sur les dunes des Pays de Monts.

D'après les travaux de Ters (1961) et Verger (1968), les sables des plages et dunes des Pays de Monts proviendraient à la fois de matériaux locaux (micaschistes, calcaires, ...) et de matériaux d'origine plus lointaine, transportés notamment par la Loire.

Les données existantes sur les caractéristiques granulométriques des sables de plage, de dune et marins ainsi que sur leur minéralogie ont été synthétisées et comparées aux données acquises dans le cadre de l'action 4. Malgré l'écart de temps entre les travaux de Ters (1961) et Verger (1968) et ceux de l'OLPM (2010, 2011), les observations apparaissent similaires. Les matériaux observés maintenant et dans les années soixante semblent donc présenter la même origine.



Illustration 14 : Construction récente des dunes à partir de flèches sableuses (Renault, BRGM, 2011), schématisée sur un extrait de la carte géologique du Massif armoricain au 1/250 000 (Chantraine et al. 2004)

6.2. EVOLUTION DES DUNES – DE 1971 A 2009

Une cartographie présentant un état des lieux du milieu dunaire en 2009 a été réalisée. Une analyse diachronique entre 1971 et 2009 (à partir respectivement des photographies aériennes IGN et de l'orthophotographie IGN) a été ensuite effectuée sur des secteurs sélectionnés parmi ceux ayant été fortement modifiés comme celui allant de la plage des soixante Bornes à celle des Salins ou le golf de Saint-Jean-de-Monts ou le secteur du Pont d'Yeu. Elle conduit à une analyse des surfaces couvertes par les différents types identifiés (strates arborées et herbacées, surfaces artificialisées ou à nu) et permet de connaître l'ampleur des changements observés. Une attention particulière a été accordée aux surfaces à nu d'une part, puisqu'elles sont en général révélatrices d'une perturbation du couvert végétal, et aux surfaces artificialisées d'autre part qui tronquent la dune et entraînent des changements irréversibles dans le paysage.

Concernant le secteur du Pont d'Yeu, plusieurs constatations peuvent être faites à l'aide des cartes (Illustrations 15 à 17). Le changement le plus important est la progression de la strate arborée de 23% dont 20% ont été « grignotés » à la dune grise. Le deuxième changement concerne le lotissement « La Plage » qui s'est étendu vers le Nord et l'Ouest principalement sur des surfaces à nu. Enfin, un chemin parallèle au trait de côte est apparu au détriment de la strate herbacée. À l'inverse il semble aussi important de souligner qu'au niveau du parking du Pont d'Yeu la situation s'est améliorée. En effet en 1971 plusieurs chemins perpendiculaires au trait de côte allant du parking vers la plage étaient présents. Ils n'existent plus en 2009 (la strate herbacée les a en partie cicatrisés) : le balisage entourant le parking a permis de canaliser les flux touristiques.

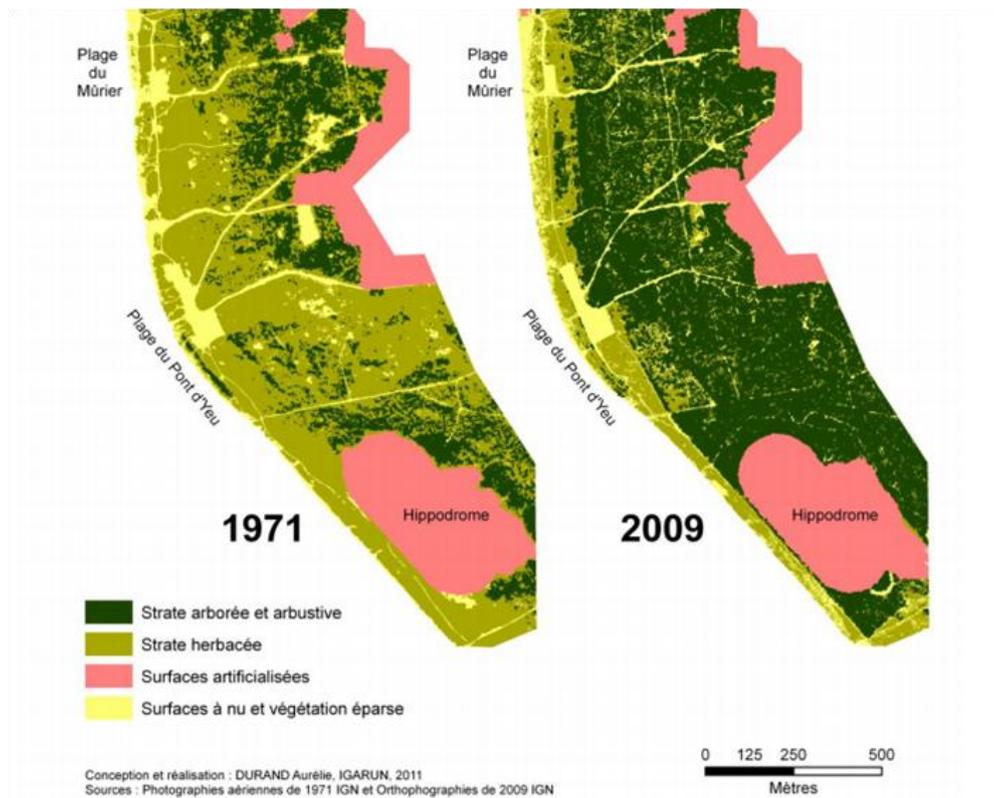


Illustration 15 : Evolution entre 1971 et 2009 de l'occupation du sol de la dune à l'arrière des plages du Pont d'Yeu et du Mûrier

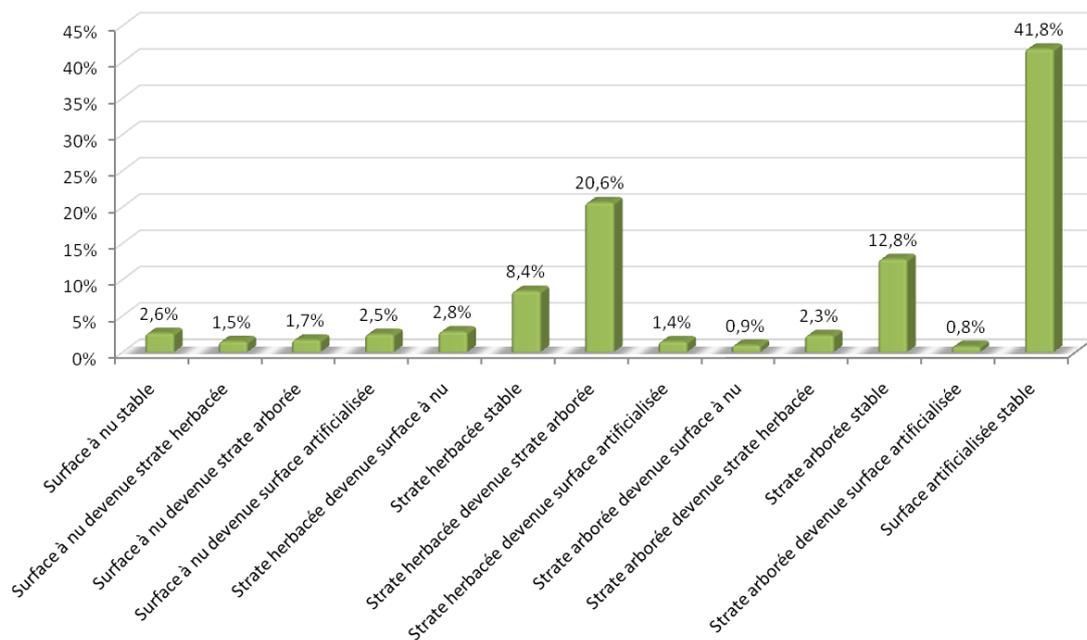


Illustration 16 : Type d'évolution de l'occupation du sol au Pont d'Yeu entre 1971 et 2009 (Durand, IGARUN-ONF, 2011)

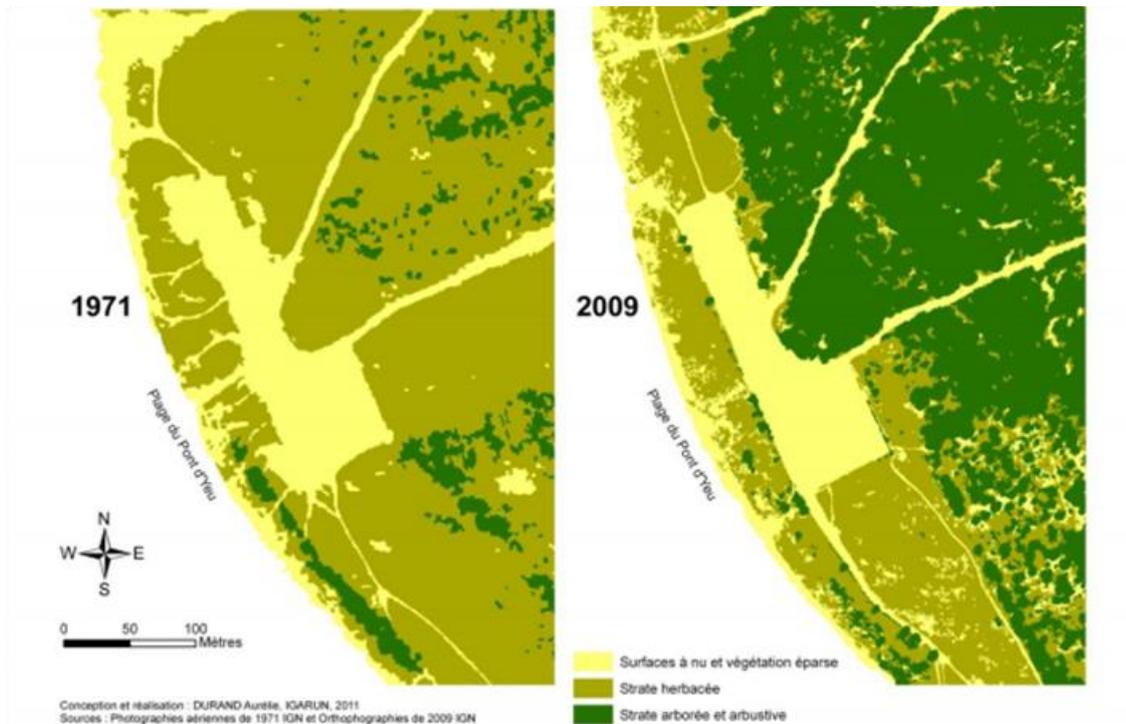


Illustration 17 : Influence de la canalisation des flux touristiques au niveau du parking de la plage du Pont d'Yeu sur l'évolution entre 1971 et 2009 de l'occupation du sol de la dune (Durand, IGARUN-ONF, 2011)

6.3. DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE

Dans le cadre de l'étude de la dynamique sédimentaire, une comparaison du trait de côte à différentes périodes dans le temps a été effectuée.

Une approche méthodologique consistant en un découpage du trait de côte en segments de taille égale (Illustration 18, détails en Annexe 1) a été utilisée pour comparer le trait de côte à différentes périodes. En préliminaire, les traits de côte ont été digitalisés à partir des photos aériennes (1920, 1950, 1971, 2000, 2009). A partir de ce découpage et des traits de côte ainsi digitalisés, des synthèses par période ont pu être faites (Illustration 19).

Les photos aériennes présentant des qualités très différentes, un travail méthodologique reste encore à mener pour améliorer la qualité de la comparaison. En particulier, les éléments considérés pour la digitalisation du trait de côte doivent être similaires d'une photo à l'autre. Les traits de côte digitalisés à partir des orthophotos 2006 et 2009 apparaissent ainsi de qualité équivalente. En revanche, les traits de côte digitalisés à partir des documents plus anciens nécessitent d'être retravaillés. Il est dans ce cadre envisagé d'évaluer la marge d'erreur sur chaque trait de côte digitalisé (perspective 2012).

D'autres façons de représenter l'évolution du trait de côte ont été testées (cf. § 4). L'illustration 20 présente la restitution obtenue à partir de la méthodologie des zones tampon.

Cette première approche montre les tendances d'évolution du trait de côte, sans pour autant comprendre la part des différents facteurs qui la régissent (Illustration 21). Pour ce faire, des données telles que la bathymétrie (topographie des petits fonds), les courants marins à la côte (dont dérive littorale tout particulièrement) et le stock de sédiments disponible (accessible par géophysique- sismique) sont indispensables.

L'analyse cinématique des traits de côte sur la période 1920-2009 permet de dégager certaines tendances (Illustration 22), à confirmer après améliorations méthodologiques. La plage de la Tonnelle apparaît ainsi en érosion constante depuis la période 1920-1950, avec une accélération de l'érosion depuis le début du XXIème siècle. La plage du Pont d'Yeu suit dans une moindre mesure la même tendance. Plus au sud, dans la continuité de ces deux secteurs, la plage de la Parée du Jonc apparaît en accrétion. Le phénomène d'accrétion semble s'accroître depuis le début des années 2000. Au Nord du Pont d'Yeu, les secteurs situés dans le prolongement de la plage du Pont d'Yeu jusqu'à la plage du Bois Soret ont connu des périodes d'accumulation (1920-1950 et 1971-2000) et des périodes d'érosion (1950-1971, 2000-2009). Plus au Nord encore, la plage de la Bergère montre une forte accrétion depuis 1950, tandis que le secteur de Fromentine, stable ou en accrétion avant la construction du Pont de Noirmoutier, apparaît en érosion depuis sa mise en service. Entre Fromentine et la plage de la Bergère, la plage de la Grande Côte montre de très fortes inversions de tendance (érosion, accrétion) au cours des quatre grandes périodes étudiées.

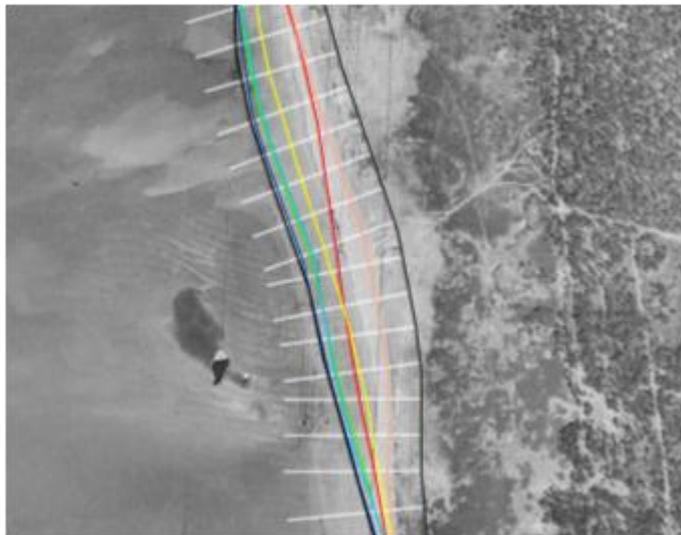


Illustration 18 : Découpage systématique du linéaire côtier en vue de l'interprétation de l'évolution du trait de côte par période de temps (Juigner, IGRUN, 2011)

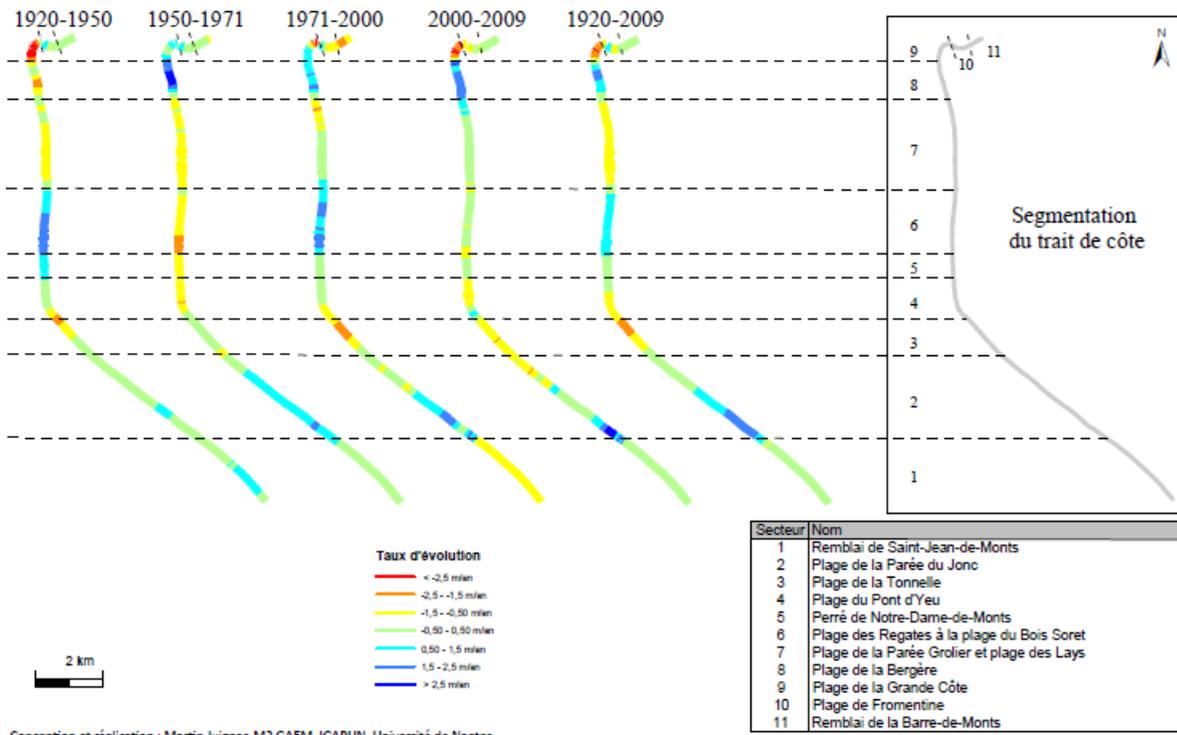


Illustration 19 : Segmentation et évolution pluri-décennale du trait de côte entre 1920 et 2009 (discrétisation par écart-type à partir de transects recoupant les traits de côte à différentes périodes (Juigner, IGARUN, 2011))

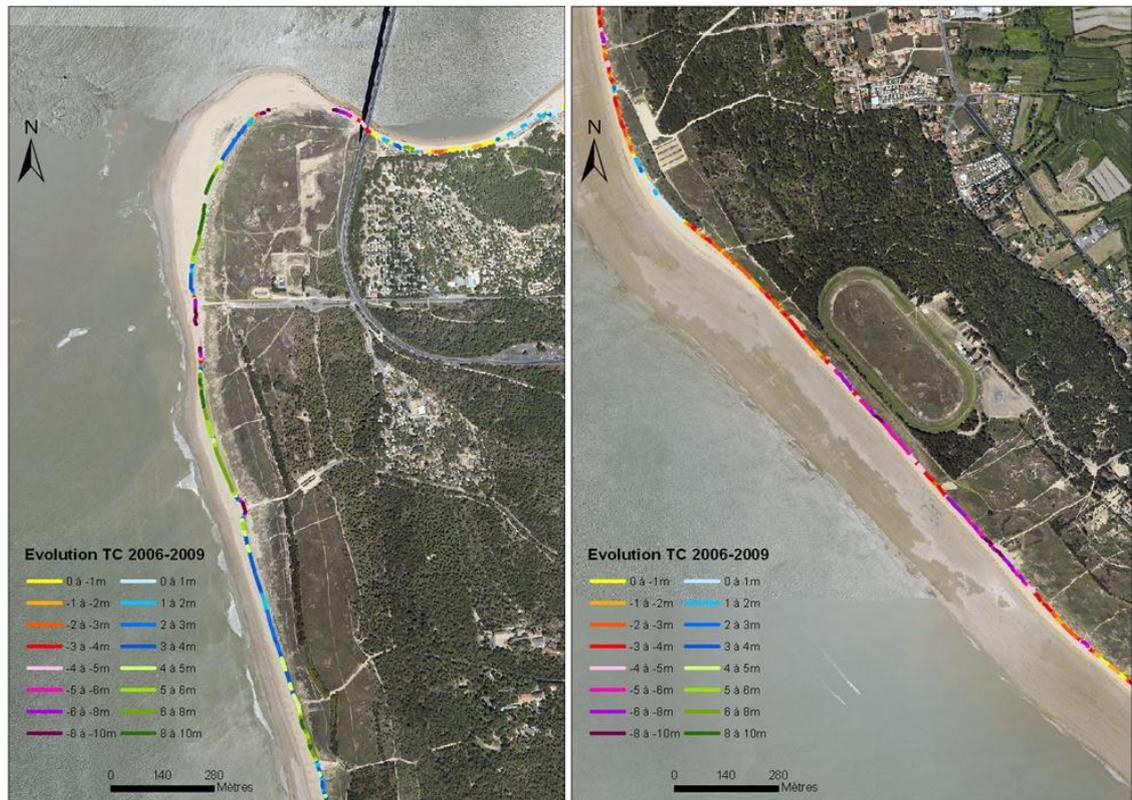
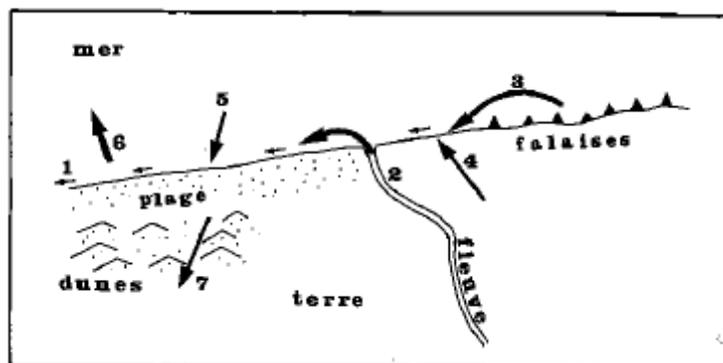


Illustration 20 : Synthèse de l'évolution du trait de côte entre 2006 et 2009 le long du linéaire côtier des Pays de Monts obtenue par la méthode des tampons (Jaouen, BRGM, 2011)



Légende : Origine des gains et pertes

- 1) dérive littorale
- 2) sédiments provenant d'un cours d'eau
- 3) érosion des falaises par les vagues
- 4) vent de terre
- 5) apports de sédiments par les vagues à partir de l'avant côte
- 6) pertes de sédiments emportés par des courants d'arrachement
- 7) vent de mer édificateur de champs de dunes

Illustration 21 : Gains et pertes de sédiments par une plage (Paskoff, 1998)

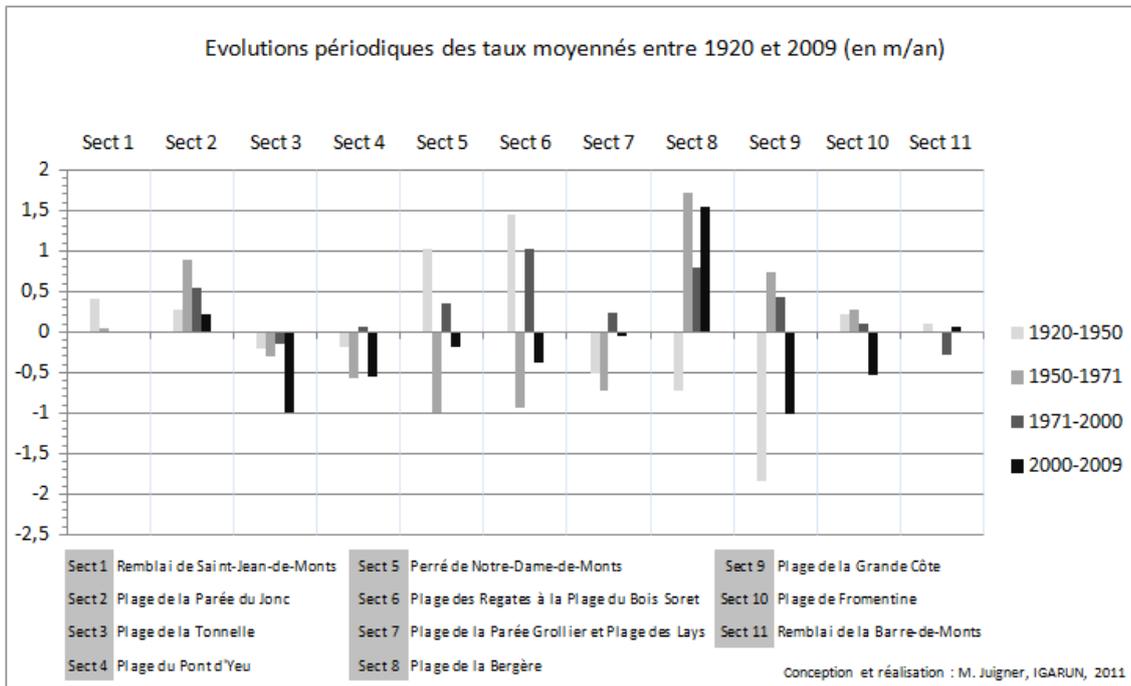


Illustration 22 : Analyse par secteur des tendances d'évolution du trait de côte par période entre 1920-2009 (taux moyennés)

7. Recherche de matériaux de rechargement de plage ou de dune

Parmi les solutions possibles pour palier à l'érosion figure le rechargement de plage. En particulier, la plage de la Tonnelle, située au sud du Pont d'Yeu, est la plus touchée par l'érosion, avec un recul d'environ 11,5 m sur la période 2000-2009. Afin de protéger l'hippodrome, situé à l'arrière de cette plage, la question d'un rechargement se pose.

La plage de la Tonnelle correspond au point de départ de la dérive littorale orientée vers le sud, engendrée par la diffraction des houles sur l'île d'Yeu. Par ailleurs, cette plage correspond au point sensible de la zone du fait de son stock de sable limité par une dune très étroite (500 m) et peu élevée (maximum 4 m). Elle s'inscrit dans un linéaire côtier d'environ 7,5 km en érosion (recul moyen de l'ordre de 6 m entre 2000 et 2009 entre les plages des Lays et de la Tonnelle).

Selon le Coastal engineering manual (CECW-EH, 2008) il existe 4 sources possibles de sédiments pouvant être réutilisés pour le rechargement.

- Les carrières d'extraction à terre ;
- Les zones d'accrétion dans le domaine marin ;
- Les sédiments de dragage ;
- L'extraction offshore.

En Pays de la Loire, l'extraction à terre à partir de sablières n'est pas envisageable faute de ressource.

Pour qu'un rechargement de plage soit efficace, plusieurs conditions doivent être remplies. En particulier, il faut que le sable de rechargement soit plus grossier que le sable en place. Ainsi, les caractéristiques granulométriques d_{10} , d_{50} et d_{90} du sable destiné au rechargement doivent être supérieures à celles du sable se déposant naturellement sur la zone concernée. Sans pour autant que cette différence de granulométrie soit telle qu'elle dénature la qualité d'origine du sédiment et l'agrément de la plage. On imagine ainsi mal passer d'une plage de sable fin à une plage de galet. Dans le même ordre d'idée, la couleur du sable est également importante à prendre en compte ainsi que la nature du sédiment (sable coquillier contre sable détritique, etc.).

Plusieurs techniques de rechargement existent. On peut ainsi déposer les matériaux de rechargement directement sur la plage (par camion) ou en mer par petits fonds (clapage). Les données nécessaires sont bien sûr les caractéristiques des matériaux par rapport à la plage à recharger. Pour le clapage, la connaissance de la bathymétrie et de la courantologie des petits fonds (dont la dérive littorale) est également nécessaire afin de s'assurer que le sable déposé viendra bien alimenter au final la zone concernée et ne sera pas dispersé en pure perte.

La démarche adoptée en 2011 dans le cadre de l'observatoire a comporté une recherche historique des rechargements de plage sur le littoral des Pays de Monts

(Tableau 5), l'identification et la caractérisation de matériaux locaux susceptibles de convenir (banc de sable de la Grande Côte, matériaux de dragage du chenal de Fromentine, matériaux offshore...), et la comparaison de leurs propriétés avec celles des sables de plage (cf. 5.2, Illustration 23, Illustration 24). Les matériaux d'accrétion de la baie de Bourgneuf apparaissent trop fins (limons, vases principalement).

Commune	Répétitivité	Année de début	Volume	Zone	Commentaire
La-Barre-de-Monts	Non régulier 6 fois en 21 ans soit environ 1 tous les 4 ans	1990	50 000 m ³ en 1990 4 300 m ³ en 2010 33 000 m ³ en 2011.	Le sable provient de la plage de Fromentine au pied du pont ou d'à côté de l'estacade en bois sur l'île de Noirmoutier. Le sable est récupéré lors de travaux d'entretien du pont	Sable utilisé trop fin pour un rechargement efficace
Notre-Dame-de-Monts	A peu près tous les ans	Environ 2002	Volume faible inconnu.	Le sable est déplacé le long du profil de plage. Provenant soit du bas de plage, soit du haut de plage (accumulé le long du mur de protection), il est déposé en face du remblai, au niveau d'un espace détente ouvert l'été.	
Saint-Jean-de-Monts	A peu près tous les ans	1989 (ou avant)	Volume faible inconnu.	Le sable est récupéré au niveau du Palais des congrès pour être déplacé entre les cales 21 et 22.	

Tableau 5 : Historique des rechargements de plage d'après enquête auprès des mairies (Renault, BRGM, 2011)

Une partie du banc de la Grande Côte seulement, près du chenal de Fromentine, présente un sable de granulométrie suffisante pour recharger la plage de la Tonnelle (Illustration 23). Le volume de ce matériau semble cependant a priori insuffisant.

Les matériaux dragués présentent quant à eux des caractéristiques très variées (Illustration 24, Annexe 2), en lien avec l'hydrodynamisme des zones de prélèvement. Près de l'embarcadère de Fromentine, le matériau dragué apparaît ainsi nettement trop fin (DR20 à DR22). Il en est de même pour le sable du bas de la plage de Fromentine (cf. Tableau 5). Au Nord du banc de sable de la Grande Côte, une partie seulement des matériaux dragués présente une taille suffisante (DR1 à DR4, DR17, DR7, DR15, DR16 : Illustration 24). Toutefois, une partie de ces matériaux s'avère très grossière (Illustration 26). Ainsi, il paraît peu envisageable de recharger en surface (ou par clapage) la plage de la Tonnelle avec ces matériaux.

A Noirmoutier, une autre option a été adoptée ; elle consiste à disposer des matériaux grossiers en sous-couche de plage. L'adaptation de cette option au cas de la plage de la Tonnelle pourrait conduire à utiliser en sous-couche les matériaux grossiers issus du dragage du chenal de Fromentine. La faisabilité de cette option (notamment sa pérennité) serait à vérifier.

Les caractéristiques granulométriques de matériaux prélevés par le passé en mer (offshore) le long du linéaire côtier (Illustration 25) apparaissent également trop fins dans l'ensemble.

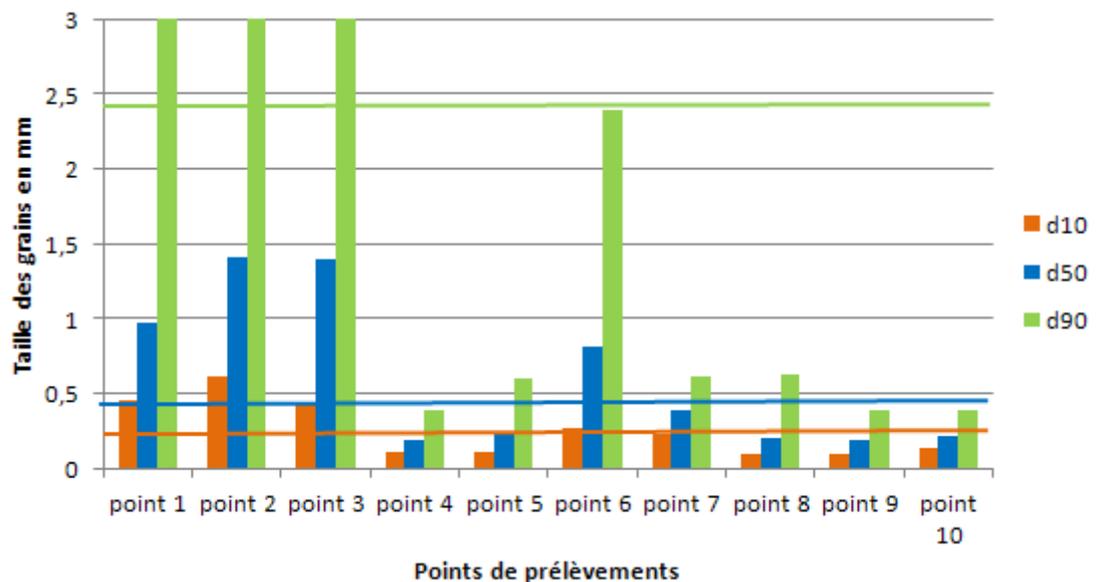


Illustration 23 : Comparatif des caractéristiques du sable du banc de la Grande Côte avec celles du sable de la plage de la Tonnelle (données OLPM, Renault, BRGM, 2011)

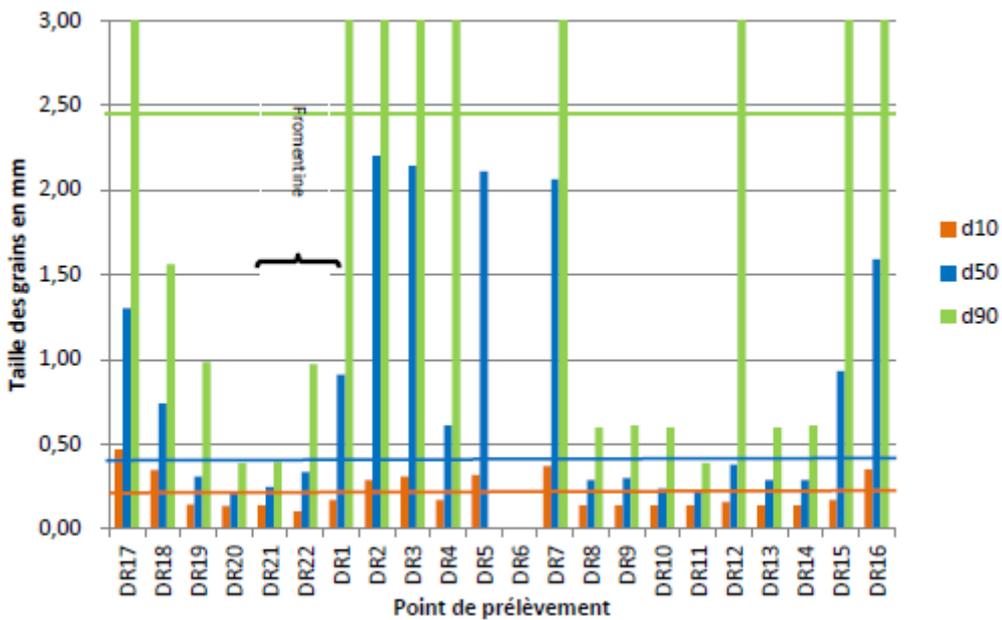


Illustration 24 : Comparatif des caractéristiques granulométriques des matériaux prélevés lors du dragage du chenal en juin 2011 par le Conseil Général de Vendée avec celles du sable de la plage de la Tonnelle (Renault, BRGM, 2011)

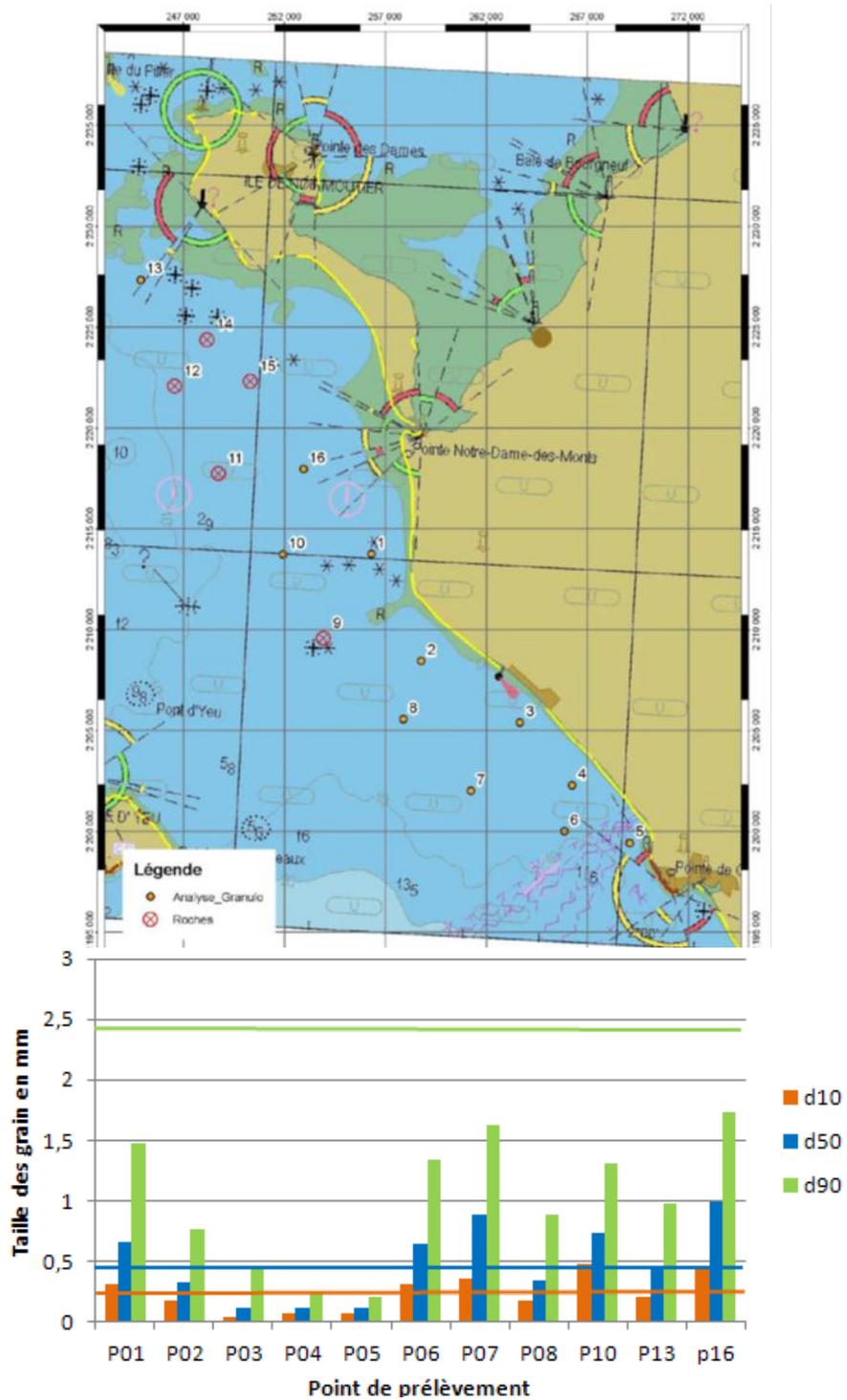


Illustration 25 : Cartes d'anciens prélèvements en mer (DHI-Geos, 2008) et comparaison des propriétés granulométriques avec le sable de la plage de la Tonnelles (Renault, BRGM, 2011)

Le Tableau 6 résume un premier bilan de l'évaluation des sources potentielles de matériau avec les conditions d'un rechargement de la plage de la Tonnelle. Par rapport à ce bilan (Tableau 6), il semble nécessaire de continuer à chercher d'autres matériaux de rechargement éventuels, avant d'évaluer les coûts de réalisation. La poursuite de la caractérisation des matériaux prélevés lors des dragages du chenal de Fromentine pourrait être une piste, de même que l'évaluation des volumes disponibles par rapport aux volumes nécessaires.

Secteur	Résultat
L'embarcadère de Fromentine	Trop fin donc non réutilisable
Le chenal de Fromentine (à proximité du pont où l'hydrodynamisme est le plus important)	Réutilisable, mais souvent trop grossier
Partie « maritime du chenal de Fromentine	Non réutilisable
Banc de sable de la plage de la Grande Côte	Possible réutilisation du sable longeant le chenal de Fromentine.
Offshore de « proximité »	Trop fins

Tableau 6 : Adéquation du matériau avec un rechargement de la plage de la Tonnelle



Illustration 26 : Exemple de matériau grossier prélevé lors du dragage du chenal de Fromentine

Au-delà de ces pistes, il serait également nécessaire a) d'évaluer le stock de sédiment disponible dans les petits fonds (quantité, qualité, accessibilité), b) de connaître sa mobilité et s'il est renouvelable (bathymétrie, courants et transit) pour c) s'assurer de la pérennité ou pas de la ressource et d'un impact limité de son prélèvement sur le budget sédimentaire du secteur et de ceux adjacents.

Dans ce cadre, une cartographie des sédiments des petits fonds (et leur typologie) et du stock sédimentaire (accessible par géophysique-sismique) serait indispensable, de même que la connaissance de la bathymétrie (topographie) des petits fonds et des courants marins à la côte (dérive littorale).

8. Conclusion

Les travaux réalisés en 2011 dans le cadre de l'observatoire du littoral des Pays de Monts sont globalement conformes au programme envisagé, avec quelques ajustements de circonstance.

L'ensemble des données acquises et les premières interprétations cartographiques a ainsi été intégré dans le SIG, qui permet une visualisation des données produites (Illustration 27).

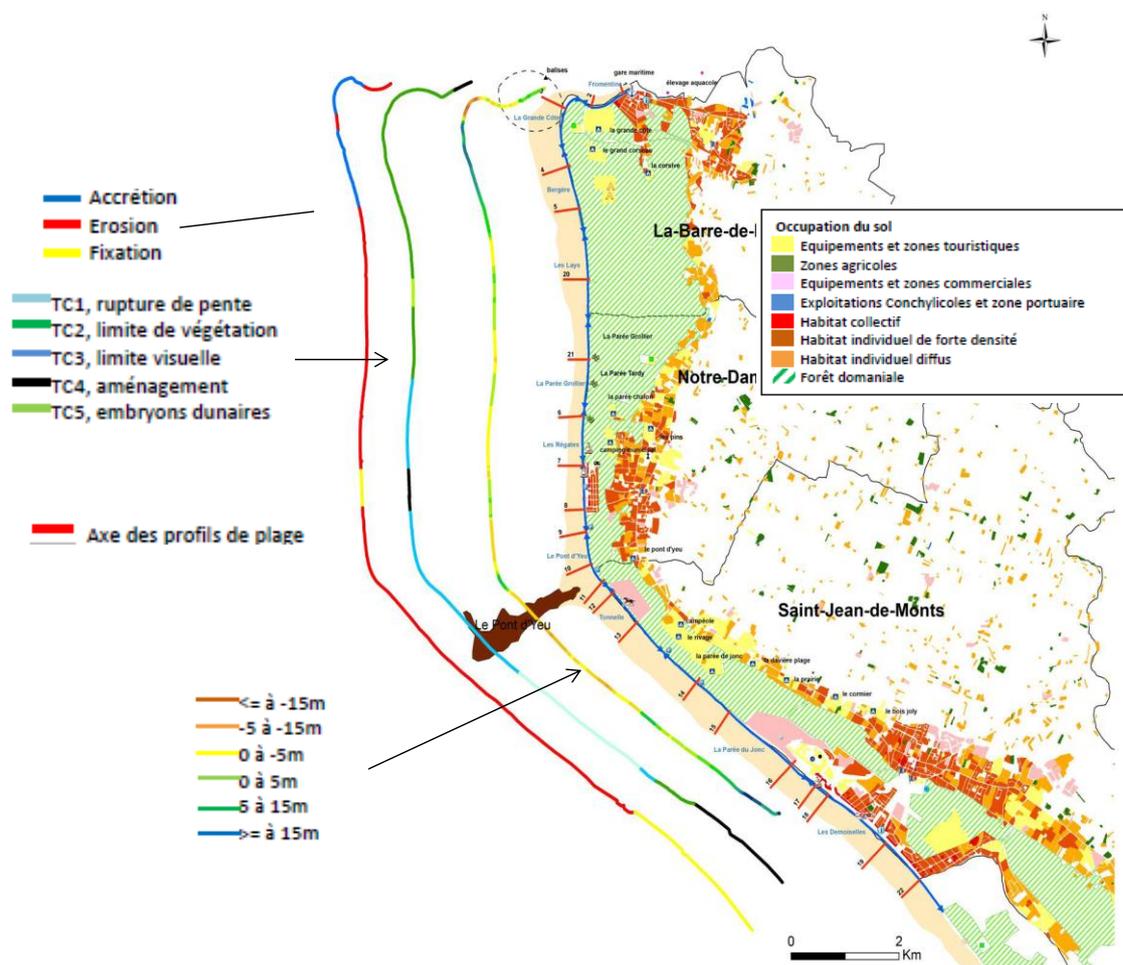


Illustration 27 : Exemples de données produites, interrogeables dans le SIG

Par rapport à ce travail, des questions scientifiques restent en suspens comme le stock de sédiments marins en place et son évolution. Cela nécessiterait l'acquisition de données sismiques et des carottages, une cartographie des lithologies des sédiments marins (possible par sonar). Pour comprendre la dynamique sédimentaire, la connaissance de la bathymétrie des petits fonds et des courants à la côte dont tout particulièrement la dérive littorale serait nécessaire. Ces points sont importants pour pouvoir répondre aux questions d'aménagement.

En 2012, les travaux envisagés visent la poursuite des suivis réguliers (action 4) incluant les profils de plage (22), le contact plage-dune, le relevé annuel des bio-indicateurs, la piézométrie et la mise en forme des données. Une synthèse des données actuelles (action 5) est également envisagée, afin d'évaluer leurs apports et limites par rapport à la compréhension des phénomènes. Une réflexion autour des solutions techniques les plus adaptées pour la gestion du trait de côte pourrait également être menée.

9. Bibliographie

CECW-EH (2008) *Beach Fill Design*, Coastal engineering manual - Partie V (chapitre 4), 109 p., p.11. Publication n°EM 1110-2-1100.

Chantraine J., Béchenec F, Rabu D. (2004) Carte géologique du Massif Armoricaïn au 1/250 000. Editions BRGM.

Coquin J. (2011) *Définition des enjeux socio-économiques pour l'Observatoire du Littoral des Pays de Monts*. Rapport de stage de fin d'études. BRGM-Université de Nantes.

DHI-Geos (2008), Etude détaillée de la cellule n°3 : du Goulet de Fromentine jusqu'à la pointe de Grosse Terre à Saint Gilles Croix de Vie, 74 p.

Durand A. (2011) *Cartographie des Milieux Dunaires des Pays de Monts (Vendée)*. Mémoire de Master 1. Université de Nantes

Jaouen J. (2011) Un SIG pour l'Observatoire du littoral des Pays de Monts. Rapport de stage de fin d'étude. BRGM-Université de Nantes.

Juigner M. (2011) Cinématique du trait de côte du Pays de Monts de 1920 à 2009 (Vendée). Mémoire de Master 1. Université de Nantes.

Le Guern C., S. Suaud, L. Legras, P. Fattal, L. Gouguet, M. Robin, V. Baudouin, C. Mallet avec la collaboration de M. Maanan, N. Ramon, F. Debaine, R. Renault, J. Jaouen, P. Conil, F. Bouchet, J. Favennec (2011) *Observatoire du littoral des Pays de Monts - Synthèse des réalisations 2010*, Rapport BRGM RP-59538-FR, 203 p.

ONERC (2010) *Prise en compte de l'élévation du niveau de la mer en vue de l'estimation des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation possibles*, synthèse n°2. 6 p.

Paskoff R. (1998) *Les littoraux : impact des aménagements sur leur évolution*, 3^{ème} édition, éditions Armand Colin, 260 p., p. 41-100.

Rahmstorf S, A. Cazenave, J. A. Church, J. E. Hansen, R.F. Keeling, D. E. Parker et R. C. J. Somerville (2007) *Recent Climate Observations Compared to Projections*. Science, n°316, p. 709.

Renault R. (2011) *Apport de la caractérisation des sables de plage et de dune à la gestion du littoral des Pays de Monts*. Rapport de stage de fin d'étude. BRGM-Université de Caen.

Verger F. (1968) *Marais et waddens du littoral français*, éditions Bordeaux Biscaye Frères, 541 p., pp. 132-175, pp. 380-400;

Ters V. (1961) *La Vendée littorale*, Thèse de doctorat, Université de Nantes, 498 p.

Annexe 1

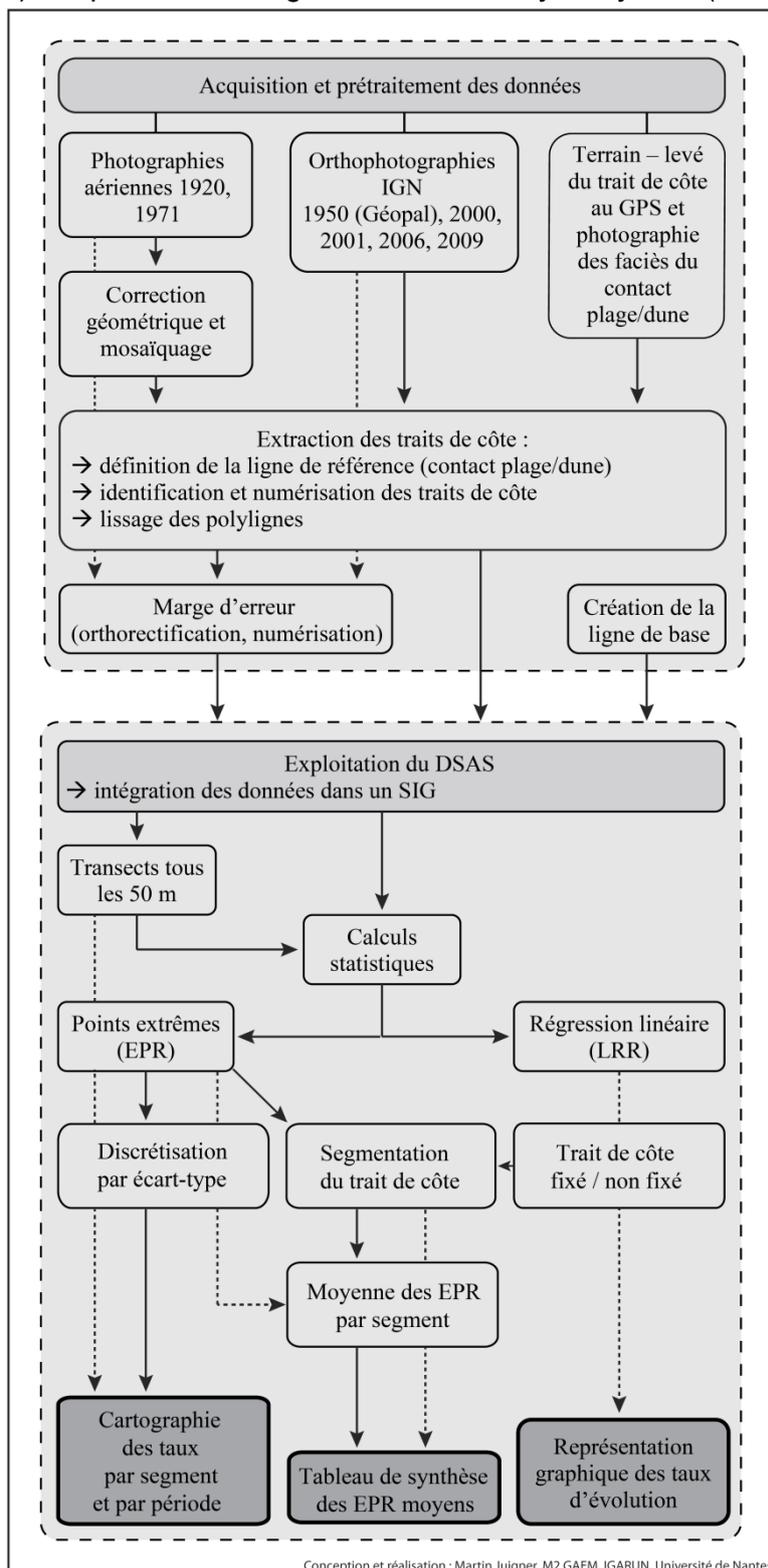
Description méthodologique pour l'exploitation d'une collection de traits de côte



L'étude de la dynamique du trait de côte réalisée dans le cadre de l'OLPM s'articule en deux temps :

1) L'acquisition et le prétraitement des données

2) L'exploitation du *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*



1) Acquisition et prétraitement des données

- La cinématique du trait de côte du Pays de Monts repose sur l'étude des orthophotographies de 1920, 1950, 1971, 2000, 2001, 2006 et 2009 dont les caractéristiques sont présentées dans un inventaire des référentiels géographiques (Cf. Figure 1).

Référentiels géographiques					
Date	Type de référentiel	Provenance	Distributeur	Echelle	Résolution
1920/1921	Ortholittorales (secteurs 1et 2)	IFREMER	DDEA Vendée	1/25 000	20 cm
14/05/1950 15/05/1950 27/07/1950	Orthophotographie	GEOPAL	IGN	1/26 000	50 cm
03/09/1971	Six photographies aériennes papier (noir et blanc)	IGARUN - ONF	IGN	1/30 000	83 cm
30/07/2000 01/08/2000	Ortho Littorale®	IGN	IGN	1/25 000	50 cm
12/08/2001	BD ORTHO® V2	CCOMM	IGN	1/25 000	50 cm
23/06/2006	BD ORTHO® V2	CCOMM	IGN	1/25 000	50 cm
2009	Orthophotographie	CCOMM	-	1/1 000	20 cm

Figure 1 : Les mosaïques de 1920 et les photos aériennes de 1971 ont été orthorectifiées afin de rendre superposables et comparables les orthophotos entre elles.

- La ligne de référence retenue est le contact plage/dune. Elle se traduit par une rupture de pente entre le haut de plage et la dune embryonnaire ou la dune blanche selon la morphologie du front dunaire. Cette ligne de référence marque la limite d'action des agents météo-marins (niveaux d'eau extrême atteint en hiver et en été) et intègre les formes d'érosion et d'accumulation qui dépendent des conditions météo-marines précédentes les campagnes aériennes ou de terrain. Une bonne connaissance du terrain permet de mieux appréhender les multiples faciès du contact plage/dune.
- Les traits de côte numérisés sont lissés afin de réduire les taux d'évolution aberrants notamment au droit des accès piétons dont les limites transversales et longitudinales sont floues.
- La marge d'erreur inhérente à la résolution des images aériennes, au processus de correction géométrique des images (erreur RMS des points de calage) et à la digitalisation des traits de côte ($\pm 1,5$ m) a été calculée pour chaque année de référence de la cinématique (Cf. Figure 2).

Année	1920	1950	1971	2000	2001	2006	2009
Marge d'erreur	± 7.5 m	± 6.5 m	± 10 m	± 6.5 m	± 6.5 m	± 6.5 m	± 6.5 m

Figure 2 : La fiche de spécification du produit BD ORTHO® précise que l'erreur maximum enregistrée lors du processus d'orthorectification est de ± 5 m. Cette valeur est intégrée pour l'orthophoto 1920 dont l'erreur n'est pas spécifiée.

- Dans le cas présent, la ligne de base est la limite *onshore* d'une zone tampon de 50 m tracée à partir du trait de côte le plus reculé de la série (1950).

2) Exploitation du *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS)

- L'intégration dans une Géodatabase personnelle des traits de côte, des marges d'erreur et d'une ligne de base *onshore* permet l'exploitation du *Digital Shoreline Analysis System* v.4.0 (DSAS). Cette extension d'ArcGis développée par l'*US. Geological Survey* permet le calcul automatisé des distances et des taux d'évolutions (en m/an) entre les traits de côte d'une même collection. Le fonctionnement du DSAS repose sur le tracé d'une ligne de base adjacente à la position des traits de côte. Des transects perpendiculaires à cette ligne sont ensuite automatiquement tracés selon les paramètres définis par l'utilisateur. Les intersections entre les transects et les traits de côte établissent les points de mesure de la distance entre chaque trait de côte.
- Les transects sont répartis tous les 50 m le long des 19,5 km de côte.
- Les calculs statistiques retenus pour l'étude sont les méthodes *End Point Rate (EPR)* et *Linear Regression Rate of Change (LRR)* lesquelles expriment un taux en m/an pour chaque transect. L'EPR décrit une tendance entre deux dates tandis que le LRR donne un taux d'évolution multidate intégrant les diverses tendances d'évolution aux divers pas de temps (Cf. Figure 3).

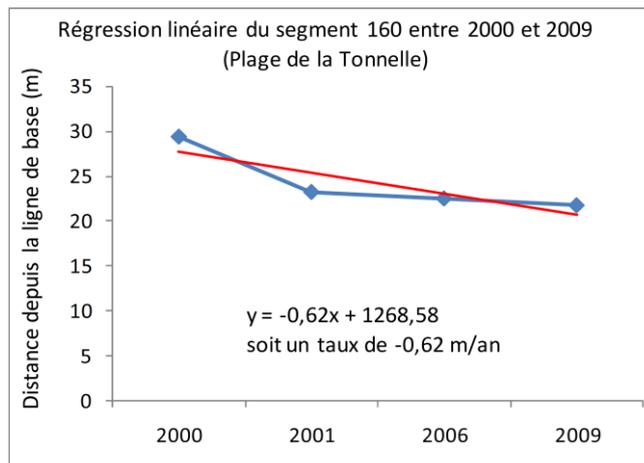


Figure 3 : exemple de régression linéaire ou le coefficient directeur de la fonction de type $y = ax + b$ exprime le taux d'évolution en m/an

- La discrétisation par écart-type des EPR en sept classes (dont une classe centrale traduisant une relative stabilité) permet de cartographier la dynamique de chaque transect et de dégager des tendances globales dans le temps et l'espace. Il devient donc possible de segmenter longitudinalement la côte selon ces tendances globales ainsi qu'en distinguant les secteurs ou le trait de côte est artificiellement fixés des secteurs où il ne l'est pas.
- Cette segmentation et le calcul des EPR moyens par segment permettent de synthétiser puis analyser l'information géographique (dans le cas présent sous forme de tableau).

Annexe 2

Granulométrie des matériaux de dragage du chenal de Fromentine (2011)

Note transmise au Conseil Général de Vendée

Rédigée par R. Renault et C. Le Guern (BRGM)

avec la collaboration de M. Maanan (IGARUN)

Observatoire du littoral des Pays de Monts

Août 2011

Avant de procéder à des essais de clapage de matériaux de dragage du chenal de Fromentine devant la plage de la Tonnelles, il a paru préférable de caractériser plus précisément les matériaux de dragage. Cette opération a été menée en concertation avec la Communauté de Communes Océan-Marais de Monts et le Conseil Général de Vendée, qui gère l'entretien du chenal de Fromentine.

Les matériaux caractérisés ont été prélevés par le Conseil Général de la Vendée lors du dragage réalisé entre Juin et début Juillet 2011. Le dragage est effectué par le biais d'une drague aspiratrice (élinde trainée sur le fond et courant d'eau entraînant les matériaux vers un puits de stockage), en mouvement sur la zone d'extraction jusqu'au remplissage du puits de stockage (250 m³). Le prélèvement (environ 1 L) a lieu une fois le puits de stockage rempli.

1. Protocole

La caractérisation granulométrique a été réalisée au sein de l'IGARUN (Institut de Géographie et d'Aménagement de l'Université de Nantes) par le BRGM de Nantes. Cette caractérisation a été réalisée par voie sèche sur colonnes de tamis, selon le protocole décrit ci-dessous.

1.1. Quartage

Au préalable, un quartage a été réalisé afin d'assurer l'homogénéité et la représentativité de la partie d'échantillon caractérisée. La masse à retenir dépend de la granulométrie du matériau à caractériser. Plus ce dernier est grossier, plus la masse à retenir doit être élevée. Pour les échantillons de granulométrie inférieure à 1-2 mm, la masse caractérisée après quartage doit être de l'ordre de 200 à 300 g. Pour les matériaux présentant une fraction grossière importante (graviers, galets), les caractéristiques sont données à titre indicatif.

1.2. Séchage

Il s'effectue dans une étuve à une température de 40°C maximum. La teneur en eau est suivie pendant le séchage afin de déterminer le moment où celui-ci est totalement sec. Une fois sec le sédiment est pesé.

1.3. Pesage

Il s'effectue sur une balance tarée possédant une précision de l'ordre de 0,01 g.

1.4. Passage à la colonne de tamis

Le sable de diamètre nominal supérieur à 0,05 mm est ensuite passé à la colonne de tamis par voie sèche. La vibration pour faire descendre le sable est créée par un système de Rop-Tap pendant une dizaine de minutes avec une amplitude de maximum 30 tours/minutes. Le refus de chaque tamis est alors récupéré au pinceau puis pesé sur une balance tarée afin de déterminer le refus en pourcentage massique et ainsi tracer les courbes granulométriques.

Les tamis utilisés pour réaliser cette caractérisation sont les suivants :

Module AFNOR	Taille du tamis en mm
38	6.31
36	3.15
34	2
32	1.25
30	0.80
28	0.50
26	0.315
24	0.20
22	0.125
20	0.08
18	0.05

1.5. Passage au granulomètre laser Malvern

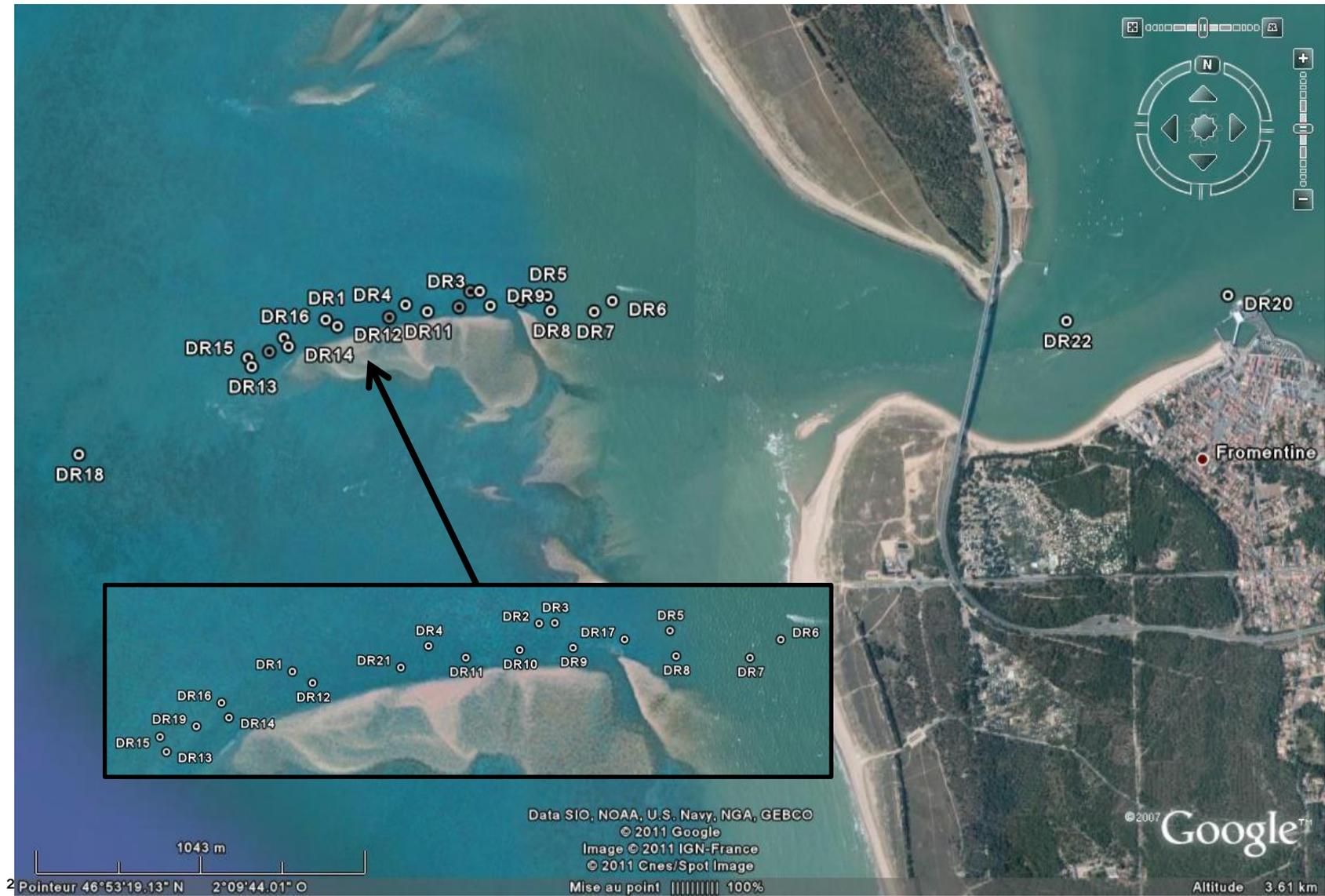
Les échantillons présentant une importante fraction fine sont passés au granulomètre laser Malvern afin de déterminer les caractéristiques granulométriques de la fraction de sédiment inférieure à 80 µm.

2. Positionnement des points de prélèvements

Compte-tenu du mode de prélèvement (cf. introduction), la localisation des échantillons est donnée à titre indicatif.

Point de prélèvement	Latitude	Longitude
DR1	46°53'30.6336' N	2°10'36.6406' W
DR22	46°53'34.2701' N	2°10'15.1312' W
DR3	46°53'34.354' N	2°10'13.7532' W
DR4	46°53'32.5849' N	2°10'24.7718' W
DR5	46°53'34.2501' N	2°10'03.5732' W
DR6	46°53'34.0716' N	2°09'53.7765' W
DR7	46°53'32.8901' N	2°09'56.4028' W
DR8	46°53'32.7621' N	2°10'02.2993' W
DR9	46°53'32.938' N	2°10'12.0332' W
DR10	46°53'32.6347' N	2°10'16.7255' W
DR11	46°53'32' N	2°10'21.4337' W

DR12	46°53'30.0231' N	2°10'34.8149' W
DR13	46°53'25.4628' N	2°10'47.3734' W
DR14	46°53'27.6916' N	2°10'42.0204' W
DR15	46°53'26.3279' N	2°10'48' W
DR16	46°53'28.5534' N	2°10'42.7419' W
DR17	46°53'33.5930' N	2°10'7.5323' W
DR18	46°53'15.5814' N	2°11'12.6385' W
DR19	46°53'27.0788' N	2°10'44.8593' W
DR20	46°53'37.9574' N	2°08'21.4276' W
DR21	46°53'31.2157' N	2°10'27.1199' W
DR22	Positionnement imprécis	



3. Résultats

Les résultats sont présentés échantillon par échantillon. Ils indiquent :

- Les différents quartiles : D10, D25, D50, D75 et D90 (en mm)
- L'indice d'hétérométrie qui donne une indication sur le classement des grains au sein d'un stock de sable

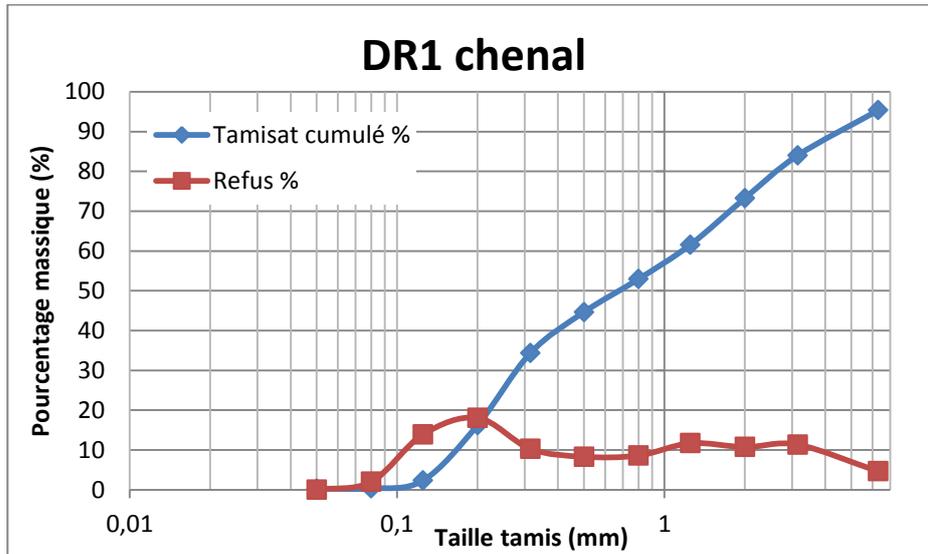
Indice d'hétérométrie	Inférieur à 0,5	De 0,2 à 0,5	Inférieur à 0,2
Qualité du classement	Mauvais	Moyen	Bon

- La médiane, le grain moyen et son positionnement sur une échelle de granulométrie (mm)
- Le pourcentage de chaque fraction en utilisant l'échelle granulométrique suivante :

Classe	Diamètre des grains
Silts et argiles	< 63 µm
Sables fins	63-250 µm
Sables moyens	250-500 µm
Sables grossiers	0,5-2 mm
Graviers	2-20 mm
Galets	20-200 mm
Blocs	> 200 mm

- Une photographie de l'échantillon

Un document Excel présentant l'intégralité des données brutes acquises est également fourni.



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR1	0,17	0,31	2,43	6,05	0,91	1,14	1,06

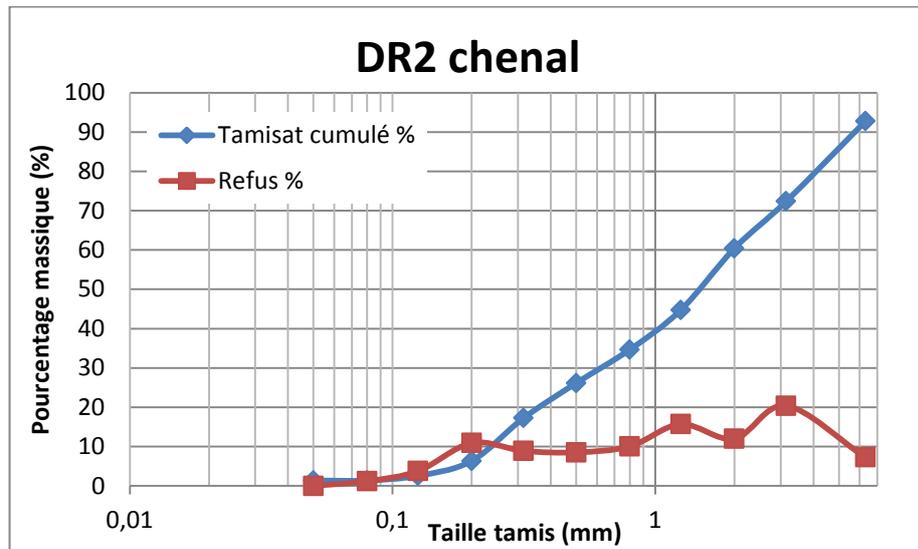
	Pourcentage massique
Sable fin	35
Sable moyen	20
Sable grossier	20
Graviers	25



Figure 1 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR1 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR1 correspond majoritairement à du sable et à des graviers dont la taille est comprise entre 0,1 et plus de 6 mm. Le grain moyen correspond à un sable grossier. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est mal classé.

Granulométrie	Étalée discontinue
Grain moyen	Sable grossier



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR2	0,29	0,61	5,49	6,17	2,20	2,62	2,44

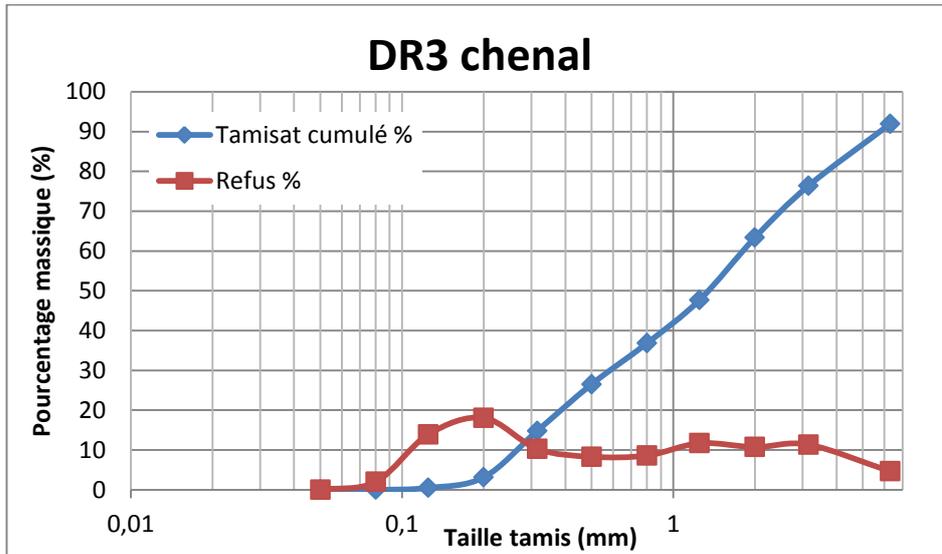
	Pourcentage massique
Sable fin	18
Sable moyen	14
Sable grossier	28
Graviers	40



Figure 2 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR2 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR2 correspond majoritairement à du sable et à des graviers, dont la taille est comprise entre 0,1 et plus de 6 mm. Le grain moyen correspond à du gravier. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est mal classé.

Granulométrie	Étalée discontinue
Grain moyen	Gravier



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR3	0,31	0,60	3,95	6,21	2,14	2,21	1,67

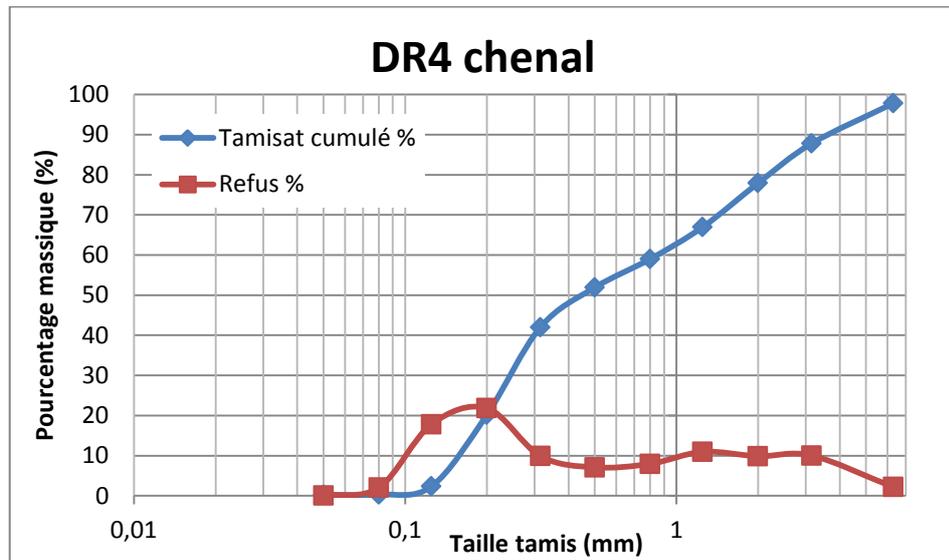
	Pourcentage massique
Sable fin	15
Sable moyen	20
Sable grossier	30
Graviers	35



Figure 3 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR3 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR3 correspond majoritairement à du sable et à des graviers, dont la taille est comprise entre 0,1 et plus de 6 mm. Le grain moyen correspond à du gravier. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est mal classé.

Granulométrie	Étalée discontinue
Grain moyen	Gravier



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR4	0,17	0,30	2,43	5,95	0,61	0,99	1,07

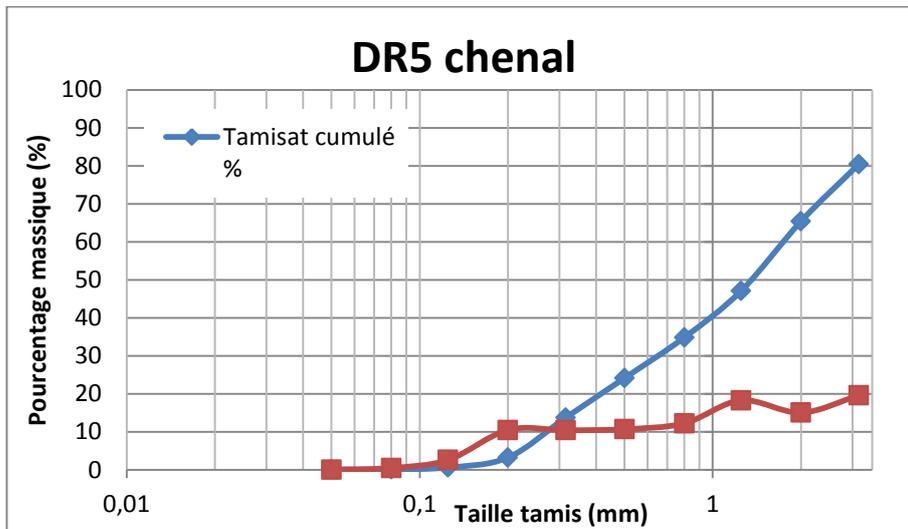
	Pourcentage massique
Sable fin	40
Sable moyen	18
Sable grossier	22
Graviers	20



Figure 4 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR4 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR4 correspond majoritairement à du sable et à des graviers, dont la taille est comprise entre 0,1 et plus de 6 mm. Le grain moyen correspond à un sable grossier. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est mal classé.

Granulométrie	Étalée discontinue
Grain moyen	Sable grossier



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR5	0,32	0,81	3,81		2,11	2,21	1,50

	Pourcentage massique
Sable fin	15
Sable moyen	15
Sable grossier	35
Graviers	35



Figure 5 : Fraction inférieure à 6,31 mm de DR5 séché (Renault, BRGM, 2011)



Figure 6: Fraction supérieure à 6,31 mm de DR5 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR5 correspond majoritairement à du sable et à des graviers, dont la taille est comprise entre 0,1 et plus de 6 mm (Figure 5). Il comporte également des galets (Figure 6). Le grain moyen de la fraction inférieure à 6,31 mm correspond à du gravier. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est mal classé.

Granulométrie	Étalée discontinue
Grain moyen	Gravier

DR6

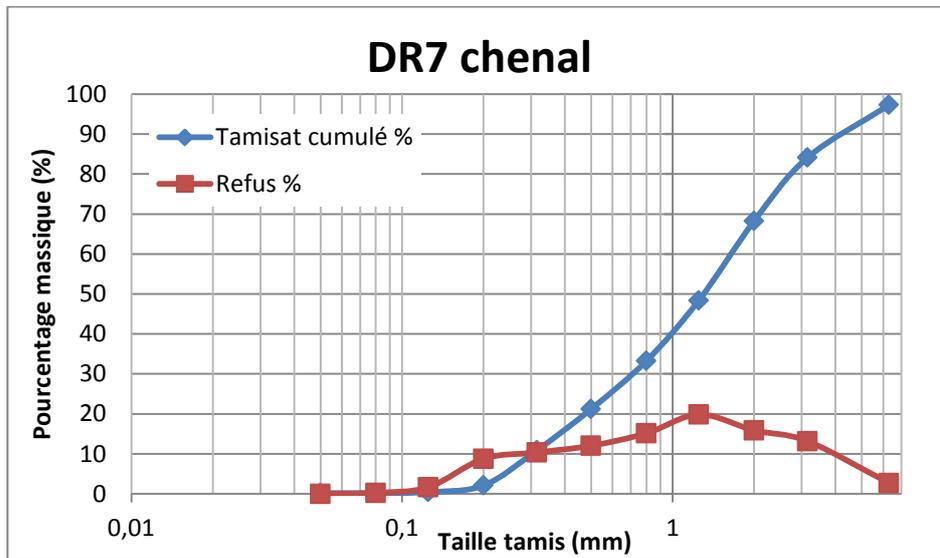
L'échantillon DR 6 présentait un volume d'échantillon trop faible pour déterminer sa granulométrie. De plus, face au rapport « taille des grains/masse à échantillonner », la mesure n'aurait pas été représentative. Les deux photographies ci-dessous représentent la totalité du sable réceptionné.



Figure 7 : Fraction inférieure à 2 mm de DR6 séché (Renault, BRGM, 2011)

Figure 8 : Fraction supérieure à 2 mm de DR6 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR6 est caractérisé par une très importante concentration de galets de diamètre moyen supérieur à 10 cm. La fraction fine inférieure à 2 mm apparaît quant à elle très peu présente voire inexistante. Le diamètre moyen des grains inférieurs à 2 mm est probablement proche de 1 mm.



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR7	0,37	0,83	3,70	5,97	2,06	2,16	1,43

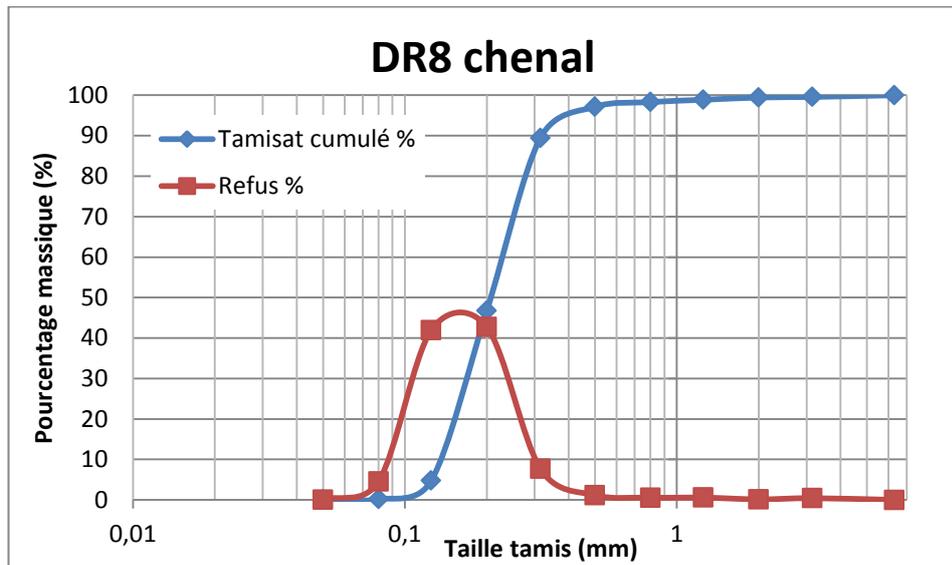
	Pourcentage massique
Sable fin	10
Sable moyen	20
Sable grossier	40
Graviers	30



Figure 9 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR7 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR7 correspond majoritairement à du sable et à des graviers, dont la taille est comprise entre 0,1 et plus de 6 mm. Le grain moyen correspond à du gravier. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est mal classé.

Granulométrie	Étalée discontinue
Grain moyen	Gravier



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR8	0,14	0,18	0,36	0,60	0,29	0,28	0,09

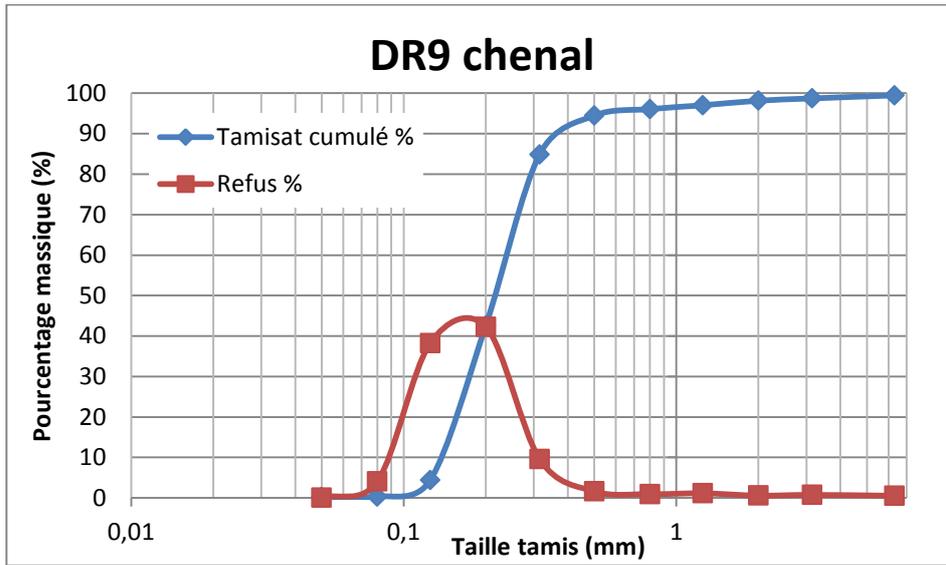
	Pourcentage massique
Sable fin	90
Sable moyen	8
Sable grossier	2
Graviers	0



Figure 10 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR8 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR8 correspond majoritairement à du sable dont la taille est comprise entre 0,1 et 1 mm. Le grain moyen correspond à un sable fin. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est bien classé.

Granulométrie	Serrée continue
Grain moyen	Sable fin



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR9	0,14	0,18	0,37	0,61	0,30	0,29	0,09

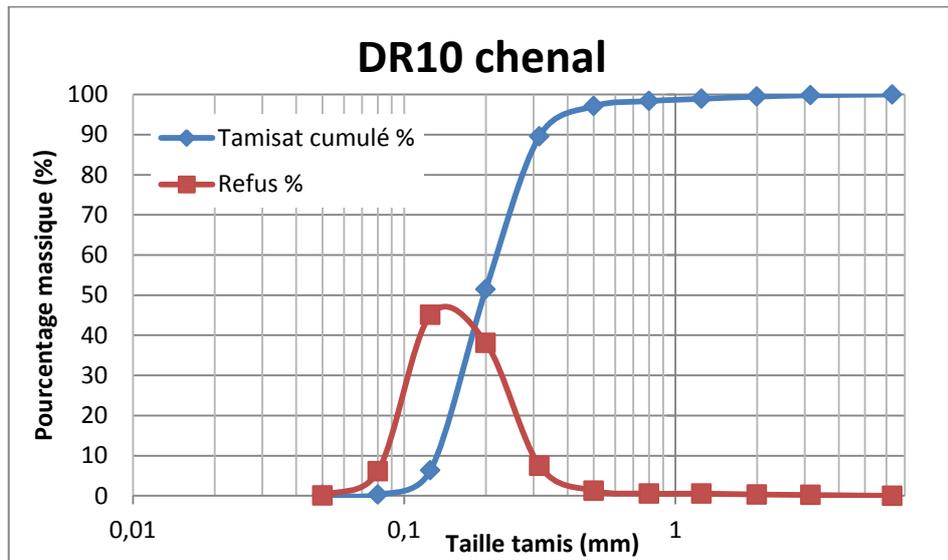
	Pourcentage massique
Sable fin	85
Sable moyen	12
Sable grossier	3
Graviers	0



Figure 11 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR9 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR9 correspond majoritairement à du sable dont la taille est comprise entre 0,1 et 3 mm. Le grain moyen correspond à un sable fin. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est bien classé.

Granulométrie	Serrée continue
Grain moyen	Sable fin



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR10	0,14	0,17	0,36	0,60	0,24	0,25	0,09

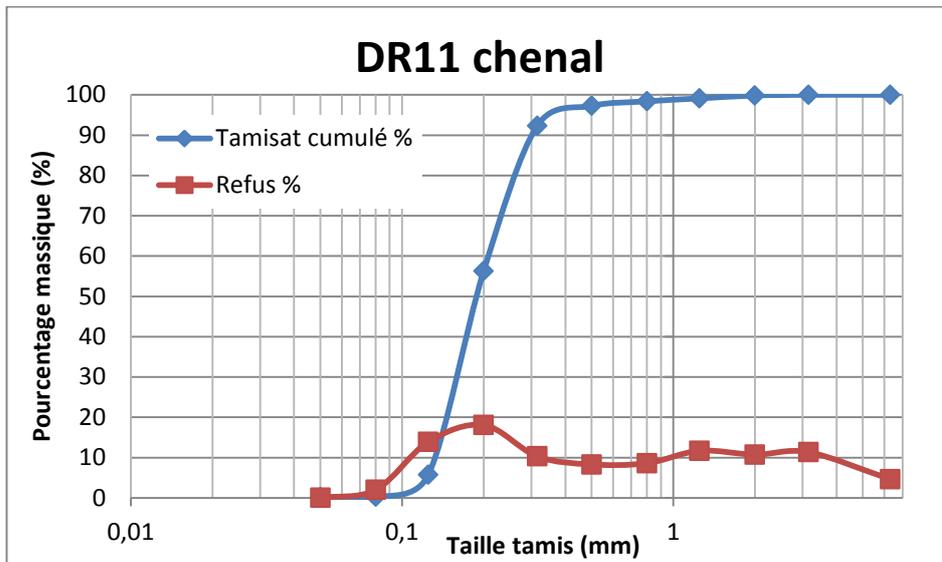
	Pourcentage massique
Sable fin	90
Sable moyen	8
Sable grossier	2
Graviers	0



Figure 12 : Photographie d'une partie de l' échantillon DR10 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR10 correspond majoritairement à du sable dont la taille est comprise entre 0,1 et 1.5 mm. Le grain moyen correspond à un sable fin. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est bien classé.

Granulométrie	Serrée continue
Grain moyen	Sable fin



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR11	0,14	0,17	0,35	0,39	0,23	0,24	0,09

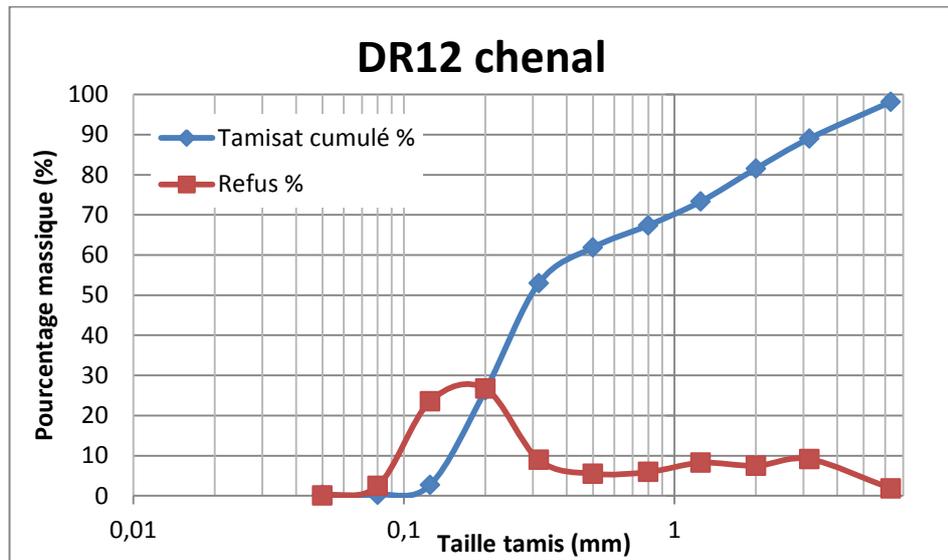
	Pourcentage massique
Sable fin	92
Sable moyen	6
Sable grossier	2
Graviers	0



Figure 13 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR11 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR11 correspond majoritairement à du sable dont la taille est comprise entre 0,1 et 1,5 mm. Le grain moyen correspond à un sable fin. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est bien classé.

Granulométrie	Serrée continue
Grain moyen	Sable fin



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR12	0,16	0,24	2,36	5,94	0,38	0,84	1,06

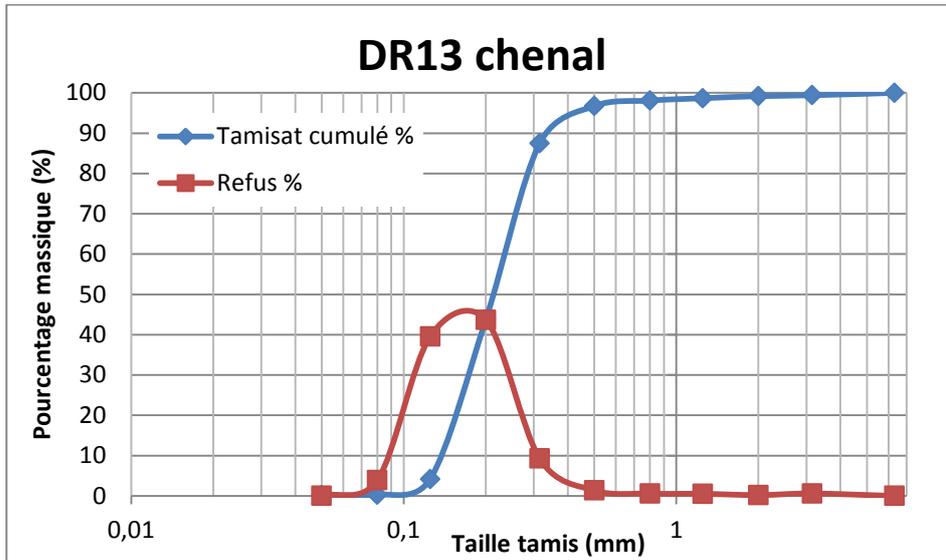
	Pourcentage massique
Sable fin	53
Sable moyen	12
Sable grossier	15
Graviers	20



Figure 14 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR12 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR12 correspond majoritairement à du sable et à des graviers dont la taille est comprise entre 0,1 et 6 mm. Le grain moyen correspond à un sable moyen. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est mal classé.

Granulométrie	Étalée discontinue
Grain moyen	Sable moyen



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR13	0,14	0,18	0,36	0,60	0,29	0,28	0,09

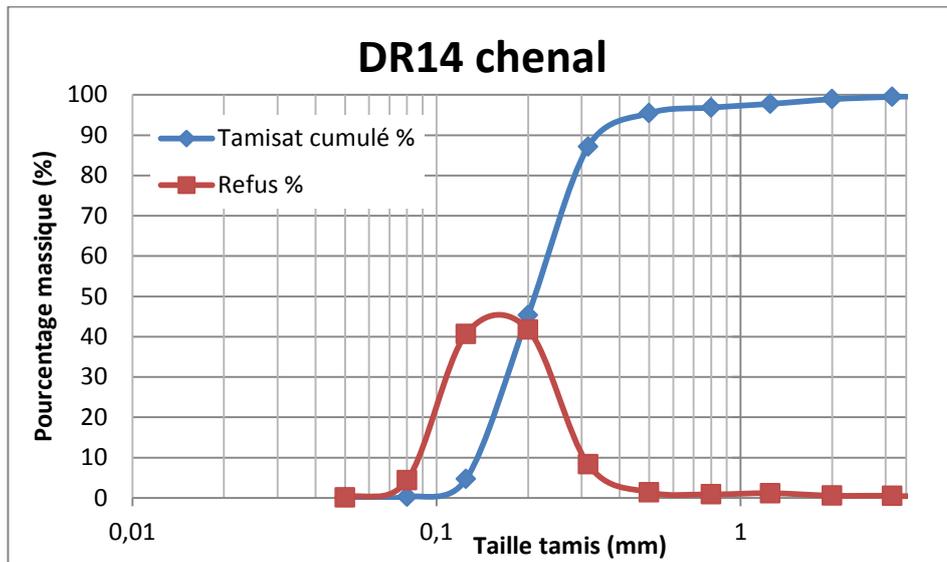
	Pourcentage massique
Sable fin	88
Sable moyen	10
Sable grossier	2
Graviers	0



Figure 15 : Photographie d'une partie de l'échantillon D13 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR13 correspond majoritairement à du sable dont la taille est comprise entre 0,1 et 2 mm. Le grain moyen correspond à un sable fin. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est bien classé.

Granulométrie	Serrée continue
Grain moyen	Sable fin



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR14	0,14	0,18	0,36	0,61	0,29	0,28	0,09

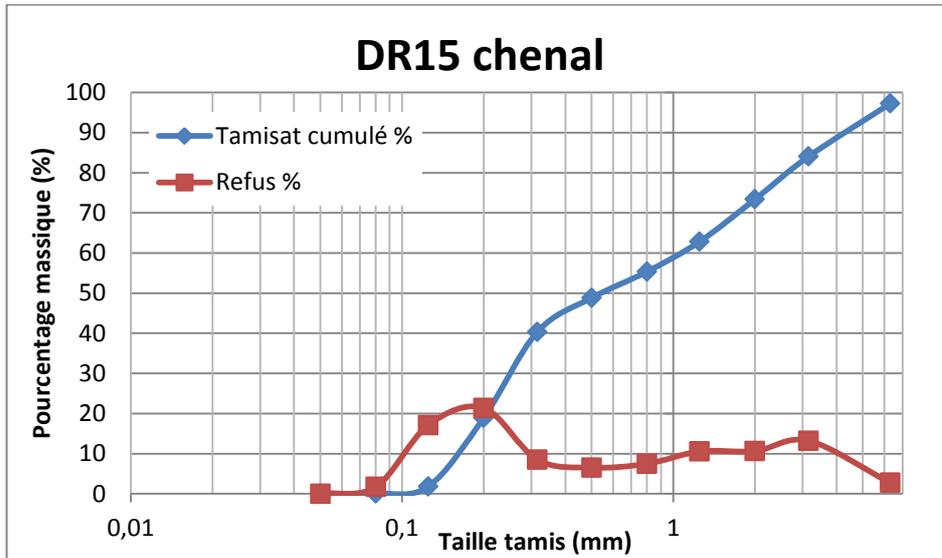
	Pourcentage massique
Sable fin	88
Sable moyen	8
Sable grossier	4
Graviers	0



Figure 16 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR14 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR14 correspond majoritairement à du sable dont la taille est comprise entre 0,1 et 2 mm. Le grain moyen correspond à un sable fin. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est bien classé.

Granulométrie	Serrée continue
Grain moyen	Sable fin



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR15	0,17	0,30	3,70	5,98	0,93	1,47	1,70

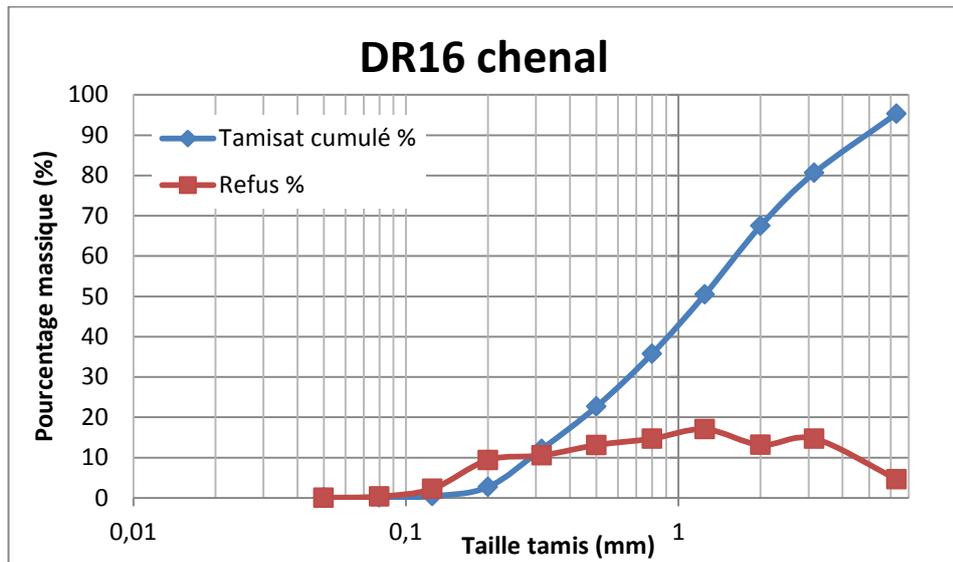
	Pourcentage massique
Sable fin	40
Sable moyen	15
Sable grossier	20
Graviers	25



Figure 17 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR15 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR15 correspond majoritairement à du sable et à des graviers dont la taille est comprise entre 0,1 et 6 mm. Le grain moyen correspond à un sable grossier. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est mal classé.

Granulométrie	Étalée discontinue
Grain moyen	Sable grossier



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR16	0,35	0,80	3,80	6,06	1,59	1,94	1,50

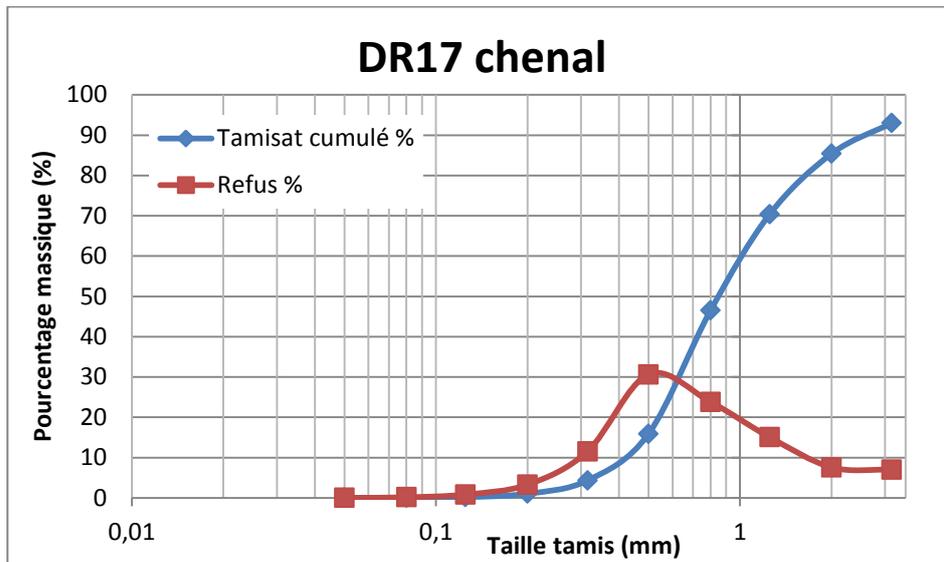
	Pourcentage massique
Sable fin	2
Sable moyen	28
Sable grossier	40
Graviers	30



Figure 18 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR16 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR16 correspond majoritairement à du sable et à des graviers de taille comprise entre 0,1 et plus de 6 mm. Le grain moyen correspond à un sable grossier. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est mal classé.

Granulométrie	Étalée continue
Grain moyen	Sable grossier



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR17	0,47	0,72	2,29	3,91	1,30	1,4	0,8

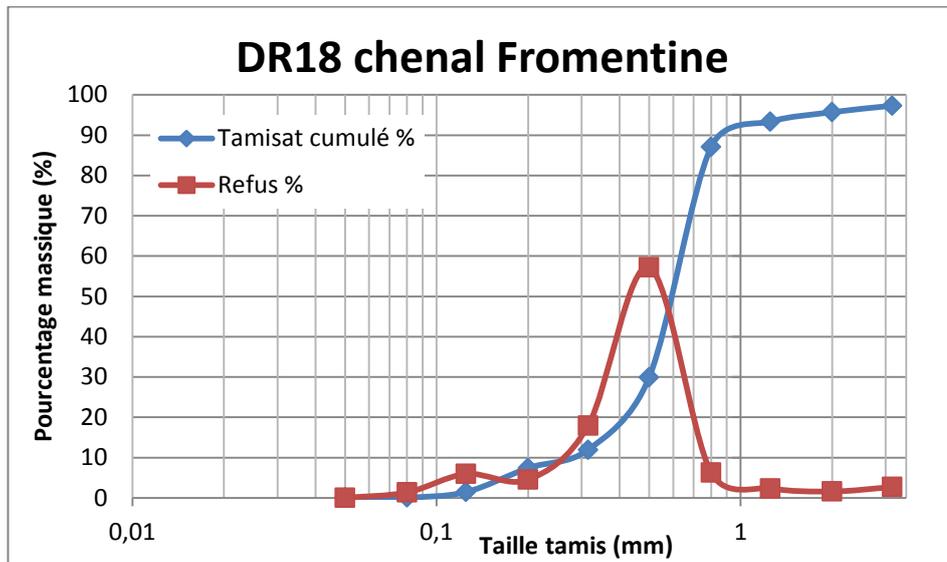
	Pourcentage massique
Sable fin	5
Sable moyen	35
Sable grossier	45
Graviers	15



Figure 19 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR17 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR17 correspond majoritairement à du sable et des graviers, dont la taille est comprise entre 0,1 et plus de 4 mm. Le grain moyen correspond à un sable grossier. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est mal classé.

Granulométrie	Étalée continue
Grain moyen	Sable grossier



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR18	0,35	0,56	0,91	1,56	0,74	0,74	0,17

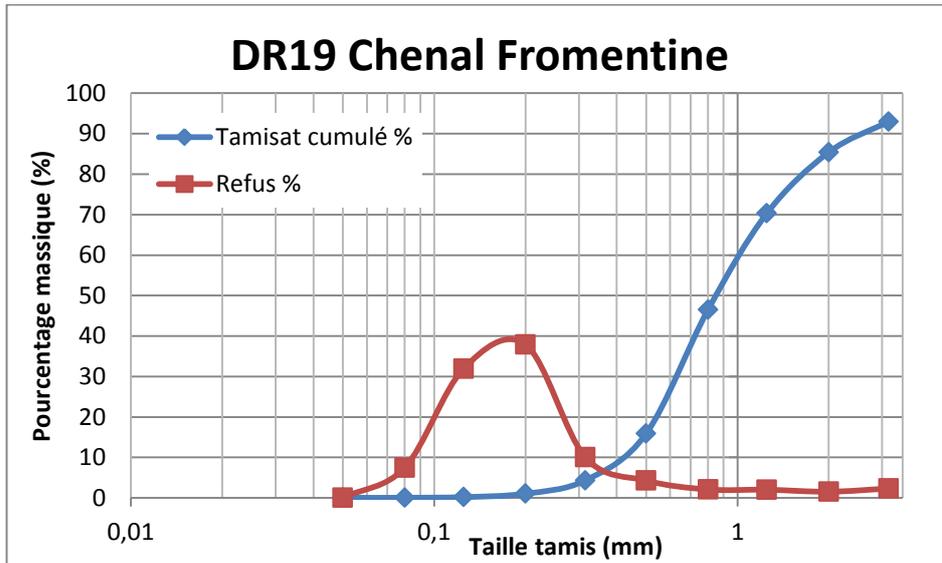
	Pourcentage massique
Sable fin	10
Sable moyen	65
Sable grossier	20
Graviers	5



Figure 20 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR18 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR18 correspond majoritairement à du sable de taille comprise entre 0,1 et 2 mm, avec un peu de gravier. Le grain moyen correspond à un sable grossier. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est bien classé.

Granulométrie	Étalée discontinue
Grain moyen	Sable grossier



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR19	0,14	0,19	0,39	0,98	0,31	0,30	0,10

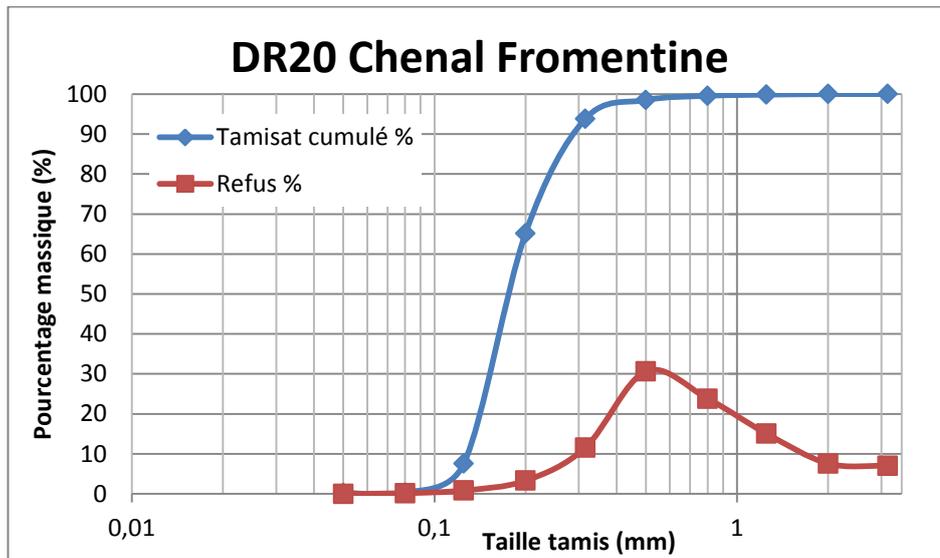
	Pourcentage massique
Sable fin	5
Sable moyen	35
Sable grossier	50
Graviers	10



Figure 21 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR19 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR19 correspond majoritairement à du sable de taille comprise entre 0,1 et 2 mm, avec un peu de graviers. Le grain moyen correspond à un sable moyen. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est bien classé.

Granulométrie	Étalée continue
Grain moyen	Sable moyen



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR20	0,14	0,16	0,35	0,39	0,21	0,23	0,09

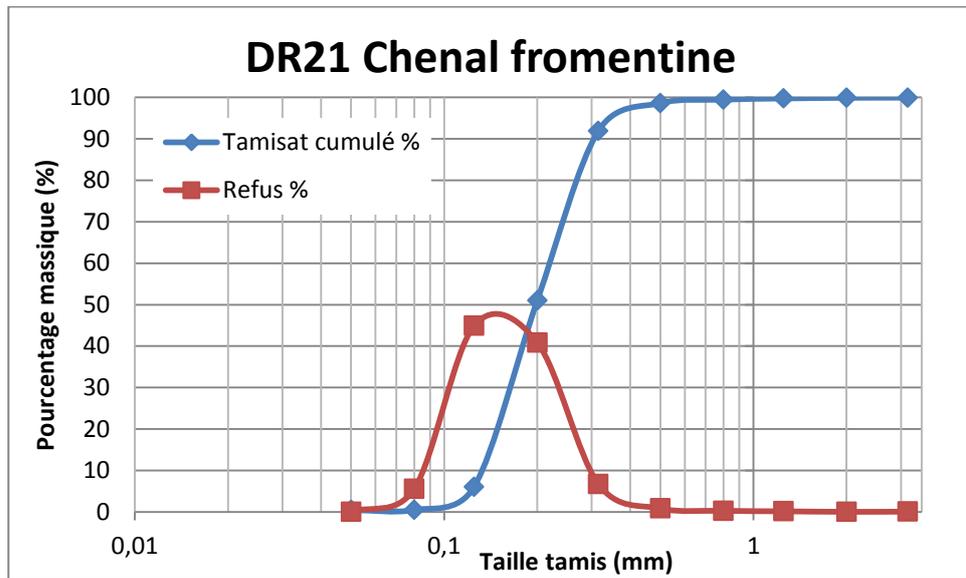
	Pourcentage massique
Sable fin	95
Sable moyen	5
Sable grossier	0
Graviers	0



Figure 22 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR20 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR20 correspond majoritairement à du sable dont la taille est comprise entre 0,1 et 1 mm. Le grain moyen correspond à un sable fin. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est bien classé.

Granulométrie	Serrée continue
Grain moyen	Sable fin



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR21	0,14	0,17	0,35	0,39	0,25	0,25	0,09

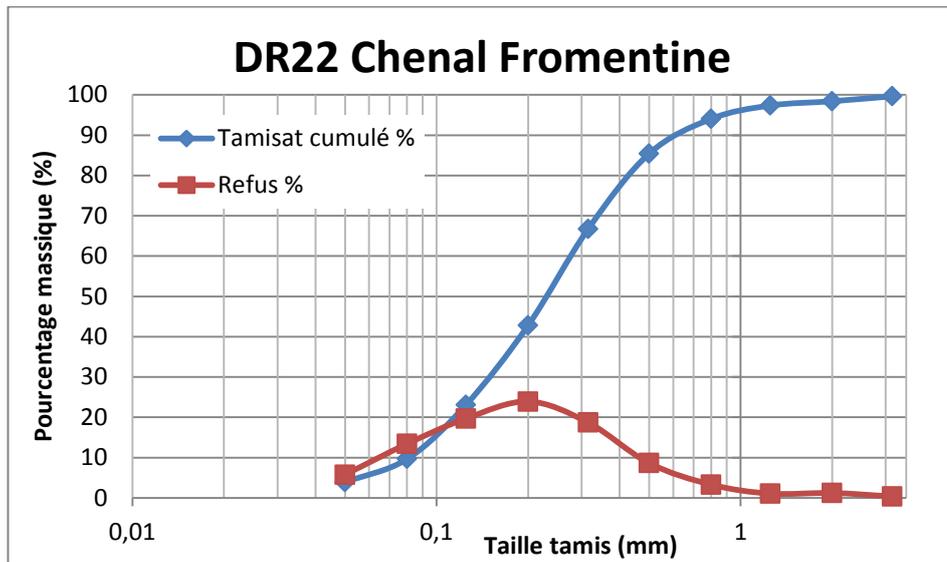
	Pourcentage massique
Sable fin	90
Sable moyen	10
Sable grossier	0
Graviers	0



Figure 23 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR21 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR21 correspond majoritairement à du sable dont la taille est comprise entre 0,1 et 0,8 mm. Le grain moyen correspond à un sable fin. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est bien classé.

Granulométrie	Serrée continue
Grain moyen	Sable fin



	D10	D25	D75	D90	Médiane	Grain moyen	He
DR22	0,10	0,18	0,58	0,97	0,33	0,36	0,19

	Pourcentage massique
Silt	5
Sable fin	65
Sable moyen	20
Sable grossier	8
Graviers	2



Figure 24 : Photographie d'une partie de l'échantillon DR22 séché (Renault, BRGM, 2011)

Le point de prélèvement DR22 correspond majoritairement à du sable dont la taille est comprise entre 0,1 et 2 mm, avec un peu de graviers. Le grain moyen correspond à un sable moyen. Par ailleurs, le calcul de l'indice d'hétérométrie indique qu'il est bien classé. Ce point a été placé à titre indicatif sur la carte des prélèvements, car les

informations transmises (Zone n°3 20/06/2011) ne permettent pas de le placer de manière précise.

Granulométrie	Étalée continue
Grain moyen	Sable moyen

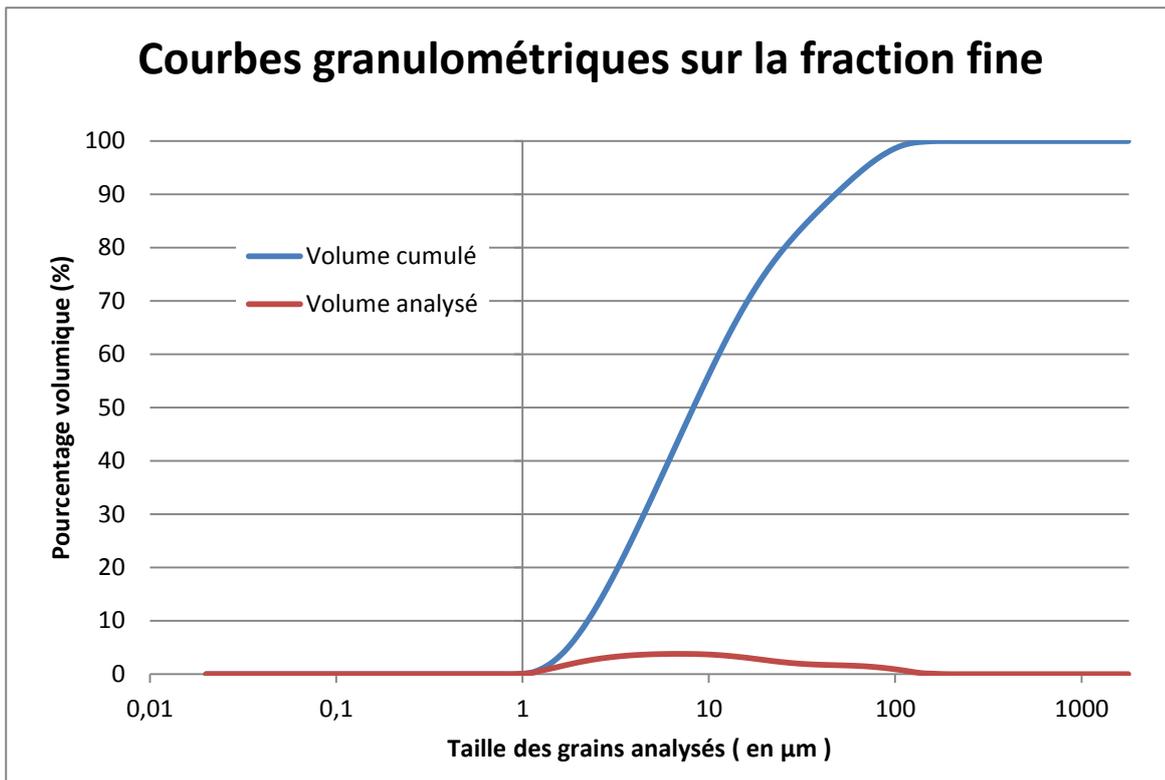


Figure 25 : Granulométrie de la fraction inférieure à 0,08 mm (Renault, BRGM, 2011)

	µm
d10	2,51
d50	9,25
d90	53,57

Tableau 7 : Caractéristiques granulométriques de la fraction inférieure à 0.08 mm (Renault, BRGM, 2011)

Cette fraction fine correspond à 5,8% du volume d'échantillon caractérisé par colonne de tamis.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional “des Pays de la Loire”
1, rue des Saumonières
BP 92342
44323 NANTES cedex 3 France
Tél. : 02.51.86..01.51