

D.LEVACHER, M.SANCHEZ &
Centre Français du Littoral (Ed.)

ACRI
ETPO
BRGM
CETMEF
UNIVERSITÉ DE CAEN
UNIVERSITÉ DE NANTES
CENTRE FRANÇAIS DU LITTORAL

GÉNIE CÔTIER - GÉNIE CIVIL



XI^{èmes} JOURNÉES NATIONALES

THE
Character Building
UNIVERSITY
TOME 2

SABLES D'OLONNE • FRANCE

22-23-24-25 JUIN 2010



Comité de lecture (suite)

MANGIN Antoine	ACRI	Sophia-Antipolis
MARIN François	Université	Le Havre
MARON Philippe	ISA-BTP	Anglet
MERCIER Eric	Université	Nantes
MOLIN Bernard	ECM	Marseille
MORELATTO David	CETMEF	Brest
MORY Matthieu	Université	Pau
NOEL Claire	Sémantic	Sanary sur Mer
OUAHSINE Abdellatif	Université	Compiègne
OUJERACI Hocine	FZK	Braunschweig
PANTET Anne	Université	Le Havre
PERHERIN Céline	CETMEF	Brest
PIERRAT Daniel	CETIM	Nantes
PIOLINE Michel	CETE	Rowen
REY Vincent	ISITY	Toulon
RIHOUEY Didier	CASAGÉC	Anglet
ROUSSET Jean-Marc	ECN	Nantes
RUBAN Véronique	LCPC	Nantes
SCHOEFS Franck	Université	Nantes
SENECHAL Nadia	EPOC	Bordeaux
SEVIN Jean-Michel	PNA	Caen
SORNIN Jean-Michel	CREOCEAN	La Rochelle
SOTTOLICCHIO Aldo	BRGM	Orléans
SUANEZ Serge	UBO	Brest
TESSIER Caroline	DHI	Nantes
THOME Philippe	HT2	Nantes
THOREL Luc	LCPC	Nantes
THUAL Olivier	IMFT	Toulouse
TRICHET Jean-Jacques	CETMEF	Compiègne
TROALEN Jean-Pierre	Expert	Nancy
VASSELIN Eric	Université	Le Havre
VIDAL César	Université	Santander
VILLARET Catherine	EDF	Chalon

SOMMAIRE

Préface - Organisation

Thème 1 - Hydrodynamique côtière

1	Observation et prévision des séiches sur la côte Atlantique française Fabrice ARDHUIN, Emmanuel DEVAUX, Lucia PINEAU-GUILLOU	1
2	Modélisation des états de mer du globe à la plage : validation de nouveaux paramètres produits par Prévismer Fabrice ARDHUIN, Rudy MAGNE	9
3	Modélisation couplée vagues-courant : développements avec MARS3D et WAVEWATCH III Anne-Claire BENNIS, Fabrice ARDHUIN, Tina ODAKA	17
4	Validation numérique d'un modèle double-couche de type Boussinesq pour des ondes fortement non-linéaires et dispersives Michel BENOIT, Florent CHAZEL	25
5	Variabilité du climat de houle dans le Golfe de Gascogne au cours des six dernières décennies Xavier BERTIN, Guillaume DODET	35
6	Numerical study of boundary shear stress distribution in rectangular open channel flow Hossein BONAKDARI, Mohitram GOUSHMALANI, Daniel LEVACHER, Gistain LIPEME KOUYI	45
7	Modélisation physique des courants d'arrachement : apport des mesures lagrangiennes Bruno CASTELLE, Hervé MICHALLET, Vincent MARIEU, Fabien LECKLER, Benjamin DUBARDIER, Adrien LAMBERT, Céline BERNI, Eric BARTHELEMY, Frédéric BOUCHETTE, Philippe BONNETON, Olivier KIMMOUN, Damien SOUS, Rafael ALMAR	53
8	Vagues sur la côte aquitaine : régionalisation dynamique de 1958 à 2002 Etude CHARLES, Deborah IDIER, Rodrigo PEDREROS, Gonçalo LE COZANNET, Fabrice ARDHUIN, Cyril MALLET, Serge PLANTON	61
9	Simulation en méthode particulière des sollicitations hydrodynamiques d'ouvrages marins Jean-Marc CHERFILS, Louis BLONCE, Grégory PINON, Elie RIVOALEN	69
10	Développement d'un modèle opérationnel de prévision de houle à petite échelle sur le littoral transfrontalier des Pyrénées Atlantiques - Gipuzkoa Jérémy DUGOR, Didier REHOUEY, Fabrice ARDHUIN	79
11	Validation d'un terme source de dissipation par déferlement applicable du large à la côte Jean-François FILIPOT, Fabrice ARDHUIN, Rudy MAGNE	87
12	Caractérisation numérique et expérimentale des perturbations engendrées par la présence de tabiers ostréicoles Yves KERVELLA, Grégory GERMAIN, Benoît GAURIER, Florence CAYOCCA, Patrick LESCEUR	95
13	Étude d'agitation dans le bassin de Port 2000 Cécile FERHERIN	105
14	Caractérisation des profils de courants pendant des événements de tempête sur une plage à barre rectiligne en milieu microtidal Nicolas ROBIN, Raphaël CERTAIN, Cécile GODON, Nicolas ALEMAN, Mathieu GERVAIS, Frédéric BOUCHETTE, Samuel MEULE, Jean-Paul BARUSSEAU, Pierre FERRER, Yann BALCUI, Elena BRAMBILLA	113

15	Paramétrisation de la contrainte de cisaillement en interaction houle-courant par le modèle de la turbulence k-w Hassan SMAOUI, Abdellatif OUAHSINE, Achraf Mahdi FARHANE	121	31	Dynamique sédimentaire d'un estran lagunaire colonisé par un herbier de zostères (Bassin d'Arcachon, France) Florent GAUTHIER, Aldo SOTTOLICHO, Romario VERNEY	251
16	The effect of the type of seaward forcing on SWAN simulations at the west coast of Portugal Maria João TELLES, António A. PIRES-SILVA	129	32	Impacts des tempêtes sur la morphologie d'un littoral microtidal : le site du Lido de Sète à Marseille, Golfe du Lion Mathieu GERRVAIS, Yann BALOUIN, Rémi BELON, Raphaël CERTAIN, Nicolas ROBIN, Serge BERNI	263
17	Caractérisation des états de mer extrêmes dans les environnements soumis à plusieurs régimes de vagues Jérôme THIEBOT, Gouéry LE COZANNET, Marcel GARCIN, Rodrigo PEDREROS, Nicolas DESRAMAUT, Ebénne DEL VALLEE, Ywan DE LA TORRE, Amaud BLANGY, Carlos OLIVEROS	137	35	Modélisation des apports des bassins versants en baie de Bourgneuf Julien GILJE, Stéphane GAILLARD, Benoist HITIER, Marc ROBIN, Hélène OGER-JEANNERET, Pascal LEBOMTE	273
18	Modélisation numérique du couplage houle - courants pour l'agitation de boue. Comparaison avec des essais en cuve à houle Bainian ZHANG, Pierre DEBAILLON, Philippe SERGENT	147	34	Transport sédimentaire associé à l'évolution morphologique des plages pour des vagues irrégulières : effets des asymétries de vitesse et d'accélération Florent GRASSO, Hervé MICHALLET, Eric BARTHELEMY	283
Thème 2 - Dynamique sédimentaire et transports des particules					
19	Répartition des minéraux entre Ras Taguermet et Ras Maamour (Golfe de Gabès) : Relation avec la dynamique Abdelkhalik ATOUI, Moudi BRAHEM	155	35	Morphogénèse des bancs jouxtant les caps sous l'influence combinée de la marée et de la houle Nicolas GUILLOU, Georges CHAPALAIN	293
20	Evolution morphodynamique de la côte sableuse microtidale dans la partie sud du Golfe de Gabès : Cas de l'estuaire de Fouad Ferd (Sud de la Tunisie) Ikram BARDI, Mongi SOUAYED, Saadi ABDELJACUAD, Wissem GHARBI, Radhia SOUJSSI	163	36	Déplacement des interactions entre couvert végétal et sédimentation-érosion dans une zone humide tidale, après modifications par endiguement et fixation haute du niveau d'étiage (Grand-Lieu, Loire-Atlantique, France) Jean Jacques GUILLOU, Stefano COTTINI, Yann DELANOÉ, Zhiqiang LIAO, Martin SANCHEZ	301
21	Caractérisation de la dynamique du lit de sable sous l'action des vagues Cécile BERNI, Hervé MICHALLET, Eric BARTHELEMY	171	37	Simulation du clapage de sédiment avec un modèle à deux phases Sylvain GUILLOU, Julie CHAUCHAT, Damien PHAM VAN BANG, Duc Hao NGUYEN, Kim-Dan NGUYEN	309
22	Etude morphodynamique et modélisation numérique de Sebastian Inlet, Floride, USA Florian G. BREHEN, Gary A. ZARILLO	179	38	Evolution morphologique et dynamique de l'embouchure tidale d'oued el Melch (golfe de Gabès, sud-est tunisien) Mehar GZAM, Mohamed OUAJA, Younes JEDOUJ	319
23	Evaluation des flux sédimentaires sur les plages macrotidales du Nord-Pas-de-Calais à partir de données hydrodynamiques et de piéages in situ Adrien CARTIER, Amaud HEQUETTE	187	29	Climat de houle et caractéristiques morpho-sédimentaires du littoral de Boukardel-Kénitra (Maroc) Mouad HAKKOU, Bruno CASTELLE, Aicha BENMOHAMMADI, Boudahhou ZOURARA	327
24	Trajectoires de particules et transport sédimentaire sous l'action d'un écoulement oscillant au dessus d'un fond ridé Tien-Dai CHU, Annelie JARNO-DRUAUX, Alexander EZERSKY, François MARIN	195	40	Etude numérique de la stabilité de la crête de vase en écoulement canalisé Alice HARANG, Olivier THUAL	335
25	Réponse de la nappe d'eau sous forçage infra-gravitaire sur la plage du Trou Vent Olivier DAVID DE DREZJOUÉ, Damien SOUS, Adrien LAMBERT, Vincent REY	203	41	Sédimentation et ostréiculture dans l'estuaire du Peyré (Vendée, France) : apports de la caractérisation physico-chimique des sédiments Cécile LE GUERN, Pierre CONIL, Cyril MANCHEAU, Daniel LEVACHER	345
26	Dynamique de la crête de vase dans l'estuaire de la Loire Franck DESMAZES, Aldo SOTTOLICHO, Christine BERTIER, Jean-Baptiste LEBAUD, Malory BECHE	211	42	L'apport de modèles numériques pour l'étude morphodynamique d'un système dune-plage macrotidal sous l'effet des tempêtes : plage de la dune Dewulf, Est de Dunkerque, France Aurélien MASPATAUD, Deborah IDIER, Philippe LARROUDE, François SABATIER, Marie-Hélène RUZ, Exodie CHARLES, Sophie LECACHEUX, Arnaud HEQUETTE	353
27	Méthode de développement intégré de modèles hydro-sédimentaires. Application au système estuarien de la Nivelle, France Raphaële DORE, Philippe MARON	219	43	Influence de la gestion hydraulique sur la dégradation des milieux du Lac de Grand-Lieu : éléments de discussion Eric MERCIER, Martin SANCHEZ	361
28	Modélisation 2D de la turbidité en baie de Bourgneuf Morgan DUCSSAUZE, Martin SANCHEZ, Laurent BARILLÉ, Benoist HITIER	227	44	Morphodynamique de la plage de la Capte, Hyères, Var, suite à la mise en place d'ouvrages de houle en génie civil Samuel MECLÉ, Anne-Éléonore PAQUIER, Raphaël CERTAIN, Frédéric BOUCHETTE, Julien GRATIOT, François SABATIER, Nicolas ROBIN	369
29	Modélisation conceptuelle d'un littoral à double barre festonnée en milieu microtidal Pierre FERRER, Raphaël CERTAIN, Jean-Paul BARUSSEAL, Mathieu GERVAIS	235	45	Modélisation physique de la morphodynamique d'une plage barrière tridimensionnelle Hervé MICHALLET, Bruno CASTELLE, Frédéric BOUCHETTE, Adrien LAMBERT, Céline BERNI, Eric BARTHELEMY, Philippe BONNETON, Damien SOUS	379
30	Outil de gestion des ressources en eau dans la zone côtière : Modélisation hydrodynamique de l'aquifère Plio-Quaternaire de la côte orientale du cap bon au nord est de la Tunisie Nouredine GAALOUL	243			

46	Analyse de l'évolution morphodynamique de la plage du Truc Vert (Gironde) sur une période décennale	387
	Jean-Paul PARISOT, Sylvain CAPO, Didier RIBOUEY, Hélène HOWA, Franck DESMAZES, Leatitia FAUQUE	
47	Etude des processus d'envasement du port de St-Jean-de-Luz/Ciboure via une approche empirique	397
	Didier RIBOUEY	
48	Impact d'un barrage intra-estuarien sur la dynamique sédimentaire : la retenue de Saint-Savinien (Charente-Maritime)	405
	Sabine SCHMIDT, Eric MANEUX, Aymeric DABREN, Georges OGGLAN, Hervé DERRIENNIC, Gérard BLANC	
49	Modélisation numérique de la re-suspension de sédiments induite par la navigation	415
	Hassan SMAOUI, Abdellatif OUAHSINE, Damien PHAM, Philippe SERGENT, François HISSEL	
50	Etude sédimentologique et géochimique de la lagune d'Agoude Ridha, Sud-Est tunisien	425
	Faten TELAHGUE, Yvanes JEDOUJ, Mabeouk MONTACER	
51	Monitoring d'un rechargement massif : la plage de Camon (Languedoc-Roussillon)	433
	Cyril VANROYE, Benoît BARTHAZ	

Thème 3 - Instrumentation, mesures, imagerie et télédétection

52	Reconnaissance de métriers sublitoraux par acousté latéral et bathymétrie fixe en baie de Québec	439
	Agnès BALTZER, Christel BONNOT-COURTOIS, Serge CASSEN, Jérôme FOURNIER, André LORIN, Renaud CAGNA, Amaud GILLIER	
53	Analyse critique de l'utilisation des techniques de mesure topographique vidéo comme outil de gestion des plages sableuses	449
	Damien DAILLOUX, Didier RIBOUEY, Jérémy DUGOR, Bruno CASTELLE	
54	Bathymétrie littorale par télédétection : méthodes, précision et finalités	457
	Aurélien DEHOUCQ, Rafael ALMAR, Yann BALOUIN, Marion JAUD, Christophe DELACOURT	
55	Nouvelle méthode pour le suivi environnemental de la zone d'extraction de gravats marins des Graves de Mer	469
	Franck DESMAZES, David CLAVELEAU, Fabrice PLUQUET, Anne-Sophie ALIX	
56	Développement d'un dispositif de mesure en continu de la hauteur de sédiments	477
	Loïc GOURMELEN, Louis-Marie COTTINEAU, Frédérique LARRARTE	
57	DRELIO : Un drone hélicoptère pour le suivi des zones littorales	485
	Marion JAUD, Christophe DELACOURT, Pascal ALLEMAND, Philippe GRANDJEAN, Jérôme AMMANN, Romain CANCOUËT, Anne DESCHAMPS, Eric VARREL, Véronique CUQ, Serge SUANEZ	
58	Suivi du trait de côte en Aquitaine par imagerie Formosat-2	497
	Virginie LAFON, Anais HOAREAU, Cyril MALLET, Jean-François DESPRATS	
59	Cartographie de l'état du Domaine Public Maritime par télédétection THR : Application au Bassin d'Arcachon	505
	Virginie LAFON, Julie MUGICA, Cyril MALLET	
60	Profileurs acoustiques : un nouveau pas vers la connaissance des flux de polluants en assainissement urbain	513
	Erwan LE BARBU, Frédérique LARRARTE	
61	MAGEST : Surveillance en continu pour la connaissance de la qualité des eaux de l'estuaire de la Gironde	521
	Eric MANEUX, Patrice CASTAING, Gérard CHABAUD, Jean-Michel ESCALIER, Henri ETCHEBER, Marjorie SCHMELTZ, Sabine SCHMIDT, Aldo SOTTOLICHO, Patrice WOERTHER	

61	Caractérisation rhéométrique des conditions de transition solide/liquide de sédiments cohésifs : vers un lien avec le comportement en érosion ?	529
	Koung Sé POUV, Anthony BESQ, Sylvain GUILLOU	
63	Vers une coordination de l'observation du niveau de la mer en France	539
	Nicolas POUVREAU	
64	Typologie des barres d'avant-côte du golfe de Lion et impacts des ouvrages côtiers : apport de la technologie LIDAR	549
	Nicolas ROBIN, Raphaël CERTAIN, Cyril VANROYE, Jean-Paul BARUSSEAU, Frédéric BOUCHETTE	
65	Concentration en matières en suspension dans la crête de vase estuarienne par mesures optiques et acoustiques	557
	Aldo SOTTOLICHO, David HURTHUR, Philippe LAGUIONIE, Caroline POUILLAIN	
66	Utilisation du lidar bathymétrique dans le golfe de Lion	565
	Cyril VANROYE, Catherine GARCIA, Laurent MARION, Yves PASTOL	

Thème 4 - Vulnérabilité du littoral

67	Le suivi environnemental du dragage de Vauvato (Nouvelle-Calédonie). Un étatier de dimension mondiale à la porte d'un site classé au patrimoine mondial	573
	Michel ALLENBACH, Morgan MANGEAS, TOURAIVANE	
68	Gestion souple du littoral en harmonie avec la nature	583
	Nicolas GRUNNET	
69	Protection du littoral de Valras-Plage et de Vendres (Hérault) par une digue sous-marine : suivi des évolutions du trait de côte un an après réalisation	593
	Vincent MAZBIRAUD, Jacques VIGUIER, Ossune PAIREAU, Didier RIBOUEY, Damien DAILLOUX, Jérémy DUGOR	
70	Evolution de la ligne de côte du littoral de Sidi-Fredj (Algérie)	601
	Khoudir MEZOUAR, Romeo CIORTAN, Mohamed Amine BOUKHEMACHA	
71	Evolution des méthodes de caractérisation des atolls littoraux	609
	Céline PERHERIN, Amélie ROCHE	
72	Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux	617
	Céline PERHERIN, Amélie ROCHE, Frédéric PONS, Isabelle ROUX, Guy DESBRE, Céline BOURA	
73	Caractérisation des niveaux marins et modélisation des surcotes pendant le tempête Xynthia	625
	Lucas PINEAU-GUILLOU, Cyril LATHULIÈRE, Rudy MAGNE, Stéphanie LOUAZBL, David CORMAN, Céline PERHERIN	
74	Méthodologie de recensement des ouvrages de protection contre les atolls côtiers	635
	Amélie ROCHE, Céline PERHERIN	
75	Restoration program of bay ecosystem through eco-compatible management of river basin complex around the bay	643
	Tetsuro TSUCHIMOTO	

Thème 5 - Ouvrages portuaires, côtiers et offshore

76	Réhabilitation de l'épave de Crozet par chemisage PEHD - Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAP)	653
	Hervé BARRÉDA, Laurent BESNARD, Philippe DELORME, Henri GOUGE	

77	Elastocoast® - Process innovateur dans la construction d'ouvrages en enrochements dans le cadre de la protection du littoral maritime et fluvial Philippe DE GARDER	659	98	Déshydratation mécanisée in situ de sédiments finement dragués ou mis en dépôts : le projet SEDIGATE® I Daniel LEVACHER, Philippe DHERVILLY	859
78	Utilisation d'essences alternatives de bois durables pour les ouvrages maritimes et côtiers Sébastien DUPRAY, John WILLIAMS, Jonathan SIMM, Melanie MEADON	667	99	Co-vulcanisation de matériaux fins et sédiments Daniel LEVACHER, Fei WANG, Yingjie LIANG	869
79	Utilisation des bétons fibres à ultra-hautes performances en site portuaire Thierry KUBWIMANA, Nicolas BOURNETON, Nicolas ROUXEL, Aldérie HAUCHECORNE	685	99	Dredged marine sand as constructive material Joaquín LIMERA, Luis AGULLÓ, Miren ETXEBERRIA	877
80	Impact de digues ESC sur la dynamique littorale : Etude de cas des plages de Saint-Hilaire de Riez en Vendée Julie LEBUCNETEL, Pierre FARNOLE	693	99	Durability properties of marine sediment stabilized by pozzolan and alkali activated binders Makiko OBANA, Daniel LEVACHER, Philippe DHERVILLY	887
81	Simulation physique du frottement latéral à l'interface sol-pierre lors du forçage (cas d'une interaction limon-acier) Azeddine OULARBI, Daniel LEVACHER, Nabil MIMOUNI	701	99	Etude de la durabilité d'une valorisation de sédiments marins traités avec différents types de fumée de silice Bruno SULTONGA, Salim MEZAZIGH, Daniel LEVACHER	895
82	Hydraulique performante, wave loading and response of ELASTOCOAST revetments and their foundations Hocine OUMERACI, Tiji STAAL, Saskia PÖRTNER, Giss LUDWIGS	709	99	Traitement et valorisation des sédiments marins Sophie TREVES	909
83	Simulation de la stabilité des digues en enrochement par la méthode d'Analyse de Déformations Discontinues (DDA) Sami KAIDI, Abdelatif OUAHSINE, Mohamed ROUAINIA, François HISSEL, Philippe SERGENT	741	99	Caractérisation physico-chimique d'un sédiment portuaire en vue d'une éventuelle valorisation Dongxing WANG, Nor Edino ABRIAK, Rachid ZENTAR, Weiya XU	913
84	Appontements flottants de nouvelle génération pour l'accueil des fréquences multi-missions (FREMM) Yves STASSEN, François LESNE, Yves ROBIN, Simon HOFACK	749	Thème 8 - Gestion durable des ports de plaisance		
85	Conception d'une digue à berge reprofilable pour le projet d'extension du port de Roscoff-Bloscon Yves STASSEN, Isabelle LESPRIT	761	100	Une vieille légende : le port d'Ault dans le département de la Somme (Picardie) Laurent DELABY	921
86	Évaluation du gain de durabilité apporté par l'utilisation d'un procédé de nappe de coffrage drainante pour un béton en site maritime Benoît THAUVIN, Nicolas ROUXEL, Stéphane PASQUIET	771	101	Restructuration du port de la Rague : une gestion environnementale exemplaire Pierre FARNOLE, Jean-Pierre BLANC	929
Thème 6 - Énergies marines			102	Ingénierie hydrosédimentaire appliquée à la validation d'un concept innovant de port de plaisance Martin SANCHEZ, Charles ABESSOLO, Damien GRIMONT, David COMY, Tom RENAUD, Bertrand ALESSANDRINI, Aurelien DROUET, Georges CLAVERIE	937
87	Modélisation non-linéaire des interactions des vagues avec un corps mobile immergé Etienne GUERBER, Michel BENOIT, Stephan GRILLI, Clément BUVAT	783	Complément Thème 3 - Instrumentation, mesures, imagerie et télédétection		
88	Caractérisation expérimentale du sillage généré par une hydrolienne. Influence du taux de turbulence ambiant Fabrice MAGANGA, Grégory GERMAIN, Jean-Valéry FACQ, Benoît GAURIER, Elie RIVOALEN, Grégory PINON	795	103	Etude préliminaire des mascarets d'Aquitaine Jean-Paul PARISOT, Philippe BONNETON, Natalie BONNETON, Julien VAN-DE-LOOCK, Bruno CASTELLE, Vincent MARIEU, Aldo SOTTOLICCHIO, Guillaume DETANDT, Georges OGGIAN, Hervé DERRIENNIC, Stéphane BUJAN, Marco TISSIER, Patrice CASTAING, Pierre LUBIN, Hubert CHANSON, Fabrice PRADALIER, Roger MARCEL	945
89	Sillages tourbillonnaires des structures immergées Adrien POLPARDEN, Nicolas BOURNETON, Gaëlle FERRET, Grégory PINON, Elie RIVOALEN, Jérôme BROSSARD	803	104	Inversion du signal ADCP : application à la détermination des matières en suspension dans l'estuaire de la Gironde Jean-Paul PARISOT, Lucile GLUARD, Guillaume DETANDT, Eric MANEUX, Julien MAS, Georges OGGIAN, Vincent SALBERT, Aldo SOTTOLICCHIO	955
90	Le projet SEM-REV : un site d'expérimentation en mer pour la recherche et l'industrie Jean-Marc ROUSSET, Hakim MOUSLIM, Gérard LE BETHAN, Aurélien BABART	813			
91	Methodologies for assessing the wave energy resource near the coast: past and future Cesar VIDAL PASCUAL, Fernando MÉNDEZ INCERA, Paula CAMUS BRAÑA, Antonio TOMÁS SANPEDRO	823			
Thème 7 - Gestion et valorisation des sédiments marins					
92	Bilan national du réseau de surveillance de la qualité de l'eau et des sédiments dans les ports maritimes (REPOM) 1997 à 2005 Tristan BATAILLE, Céline LE GUYADER, André SIMON	851			

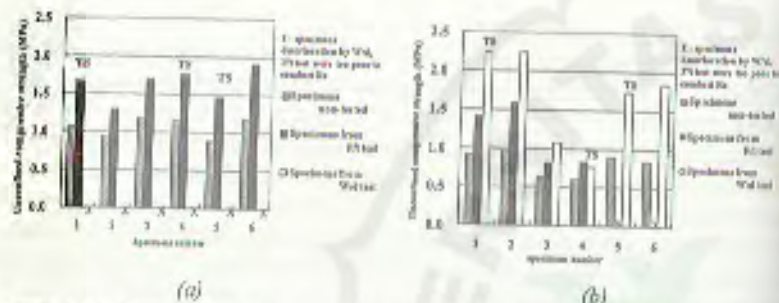


Figure 4. (a) Comparison of compressive strength of LP specimens subjected to the F/1 and W/d tests and untested specimens after 28 days of curing. (b) Comparison of compressive strength of AA specimens subjected to the F/1 and W/d tests and untested specimens after 28 days of curing.

6. References

- ARD (web site). *ARD, la référence des sols stabilisés naturels*. <http://www.mn-normandie.fr>.
- BOUTOUËL M. (1998). *Traitement des vases de dragage par solidification/stabilisation à base de ciment et additifs*. Thèse de Doctorat, Université du Havre, 276 p.
- LECLERC M. (2006). *Valorisation de la tangue, recherche de solutions et analyse technico-économique*. Mémoire de stage ENTPE, DDE Manche, 98 p.
- LEMÉE F. (2006). *Traitement par alcali activation de sédiments fins marins non contaminés et à faible teneur en eau - Mise au point d'un procédé de stabilisation*. Thèse de doctorat, Université de Caen Basse-Normandie, 187 p.
- STEGEMANN J.A., COTE P.L. (1991). *Programme conjoint d'étude de méthode d'essai pour l'évaluation des déchets solidifiés*, Série de la protection de l'environnement SPE 3/HA/8, ENVIRONNEMENT Canada, 131 p.
- STEGEMANN J.A., COTE P.L. (1992). *Protocole d'évaluation proposé pour les déchets solidifiés à base de ciment*. Série de la protection de l'environnement SPE 3/HA/8, ENVIRONNEMENT Canada, 49 p.



Etude de la durabilité de sédiments marins traités avec différents types de fumée de silice

Ernesto SILITONGA¹, Salim MEZAZIGH¹, Daniel LEVACHER¹

1. Université de Caen, U.M.R., CNRS 6143 M2C,
 24 rue des Tilleuls 14000, Caen, France.
ernesto.silitonga@unicaen.fr ; salim.mezazigh@unicaen.fr ;
daniel.levacher@unicaen.fr

Résumé :

L'objectif de cette étude a consisté, à partir de sédiments marins dragués dans le port de Port-en-Bessin, à élaborer un matériau routier susceptible d'être employé pour la réalisation d'une couche de forme. L'utilisation de fumée de silice permet pour les matériaux fins, généralement sensibles à l'eau, la création de liens entre les particules. Ceci a pour effet d'augmenter les résistances mécaniques et de limiter la circulation de l'eau libre dans la structure. Les résultats ont montré en laboratoire que l'effet de fumée de silice sur le comportement mécanique dépend de sa granulométrie et de sa minéralogie. L'effet de l'addition de fumée de silice dans les mélanges à base de sédiments a porté sur le compactage, sur l'évolution des performances mécaniques en compression simple et dans des conditions normales et extrêmes. L'ensemble des résultats acquis lors de ces travaux sont analysés et discutés.

Mots-clés :

Sédiments marins – Valorisation – Fumée de silice – Matériau routier – Compression simple – Essai de mouillage-séchage

1. Introduction

Lorsque la zone dragage est à proximité de sites industriels révélant une pollution éventuelle, les sédiments peuvent s'avérer fortement contaminés. Parmi les substances chimiques émises dans l'environnement, certaines s'accumuleront ainsi dans les sédiments fluviaux, estuariens et littoraux. Les substances néfastes les plus souvent citées sont des composés organiques et des métaux lourds à caractère dangereux ou non. Tous ces polluants constituent un problème majeur dans la gestion durable des sédiments. La difficulté de gérer ces sédiments pollués est non seulement au niveau de leur stockage mais aussi dans leur devenir et leur élimination. La recherche de filières de valorisation s'impose comme celles qui utilisent les liants hydrauliques. L'objectif est de stabiliser et de solidifier les sédiments dragués. La stabilisation est obtenue par divers mécanismes : (i) piégeage mécanique, les contaminants métalliques peuvent agir comme centre de nucléation et rester piégés dans les hydrates ainsi formés (COCKE & MOLLAH, 1992 ; 1993), (ii) précipitation, la matrice cimentaire étant un milieu

fortement alcalin, elle favorise la précipitation d'hydroxydes métalliques (COCKE *et al.*, 1989), (ii) adsorption, les hydrates de ciment possèdent une bonne capacité d'adsorption, et particulièrement les C-S-H (COCKE *et al.*, 1989). Notamment la chaux peut être employée avec d'autres additifs ou seule, pour son effet alcalin. L'utilisation de chaux est très efficace dans les sols fortement contaminés. Elle permet de conserver des pH de 9 à 11 au sein de la matrice sédimentaire, de minimiser la solubilité des métaux présents dans celle-ci, et d'éviter à nouveau leur dissolution (GARCIA *et al.*, 2004). L'évolution de la consistance des sédiments débute dès l'épandage de la chaux avec la fragmentation due au retrait de déshydratation. Le malaxage amplifie ensuite le phénomène. Les travaux de recherche menés par ASAVAPISIT (ASAVAPISIT *et al.*, 2001) montrent que les valeurs de résistance en compression simple les plus élevées sont obtenues avec des mélanges préparés avec 10% de fumée de silice. Cependant elles diminuent avec un dosage de 20%. Pour un tel dosage, il est possible que l'excès de fumée de silice ait occupé les espaces des pores réduisant ainsi les espaces vides nécessaires pour former les produits résultant de la réaction d'hydratation du ciment. En effet, pour que s'opère le développement des produits d'hydratation du ciment, on a besoin d'espaces vides et l'excès de fumée de silice peut les limiter. Par ailleurs, il a été constaté par ASAVAPISIT *et al.* (2001) que la fumée de silice a un effet significatif sur la durée de la prise du ciment et l'hydroxyde de plomb. Il a été observé également qu'avec l'augmentation de la quantité de fumée de silice, la durée de prise des échantillons (ciment + hydroxyde de plomb) diminue. Il a été conclu que la production de C-S-H secondaire due à la réaction pouzzolanique obtenue dans la réaction de la fumée de silice avec l'élément Ca(OH)_2 , entraîne une création de pores isolés et fins ce qui provoque une augmentation de la résistance de diffusion des matériaux alcalins (ASAVAPISIT *et al.*, 2001). BAGHERPOUR & CHOBBASTI (2003), ont observé que la présence de fumée de silice dans le traitement de sols fins au ciment et à la chaux, améliore les performances mécaniques des sols ainsi traités. Le sol fin étudié a été traité avec 4 pour cent de chaux et 8 pour cent de ciment Portland. L'ajout en fumée de silice variait de 0 à 5%. BEHMANESH (2008) a montré que la présence de fumée de silice diminue la porosité. Dans des mélanges traités avec un dosage en ciment de 4% de ciment et sans ajout de fumée de silice, la perméabilité est d'environ deux fois plus importante que dans le cas de mélanges identiques traités avec seulement 1% de fumée de silice. Ceci peut être relié à la taille très fine des grains de la fumée de silice utilisée qui permet ainsi de remplir les espaces vides entre les grains dans les matériaux fins solidifiés. En effet, grâce à la fine structure de la fumée de silice, la cristallisation obtenue par la réaction permet de remplir les vides et par voie de conséquence une réduction de la perméabilité dans des échantillons ainsi traités à matrice sédimentaire (BEHMANESH 2008).

2. Caractérisation des matériaux

Les sédiments utilisés dans cette étude proviennent du dragage de bassins de Port-en-Bessin, en région de Basse-Normandie. Les sédiments ont été traités avec un ajout de trois fumées de silice différentes.

2.1 Caractéristiques physiques

L'analyse granulométrique permet d'observer la répartition dimensionnelle des particules constituant tout matériau fin. Une analyse granulométrique a d'abord été effectuée sur des sédiments prélevés sur le site du Port-en-Bessin en 4 points différents, dénommés A, B, C, D. Le tableau 1 détaille la distribution granulométrique obtenue sur les sédiments de Port-en-Bessin pour les 4 points de prélèvement. On constate que cette distribution est similaire pour les 4 points de prélèvement ce qui confirme l'homogénéité des sédiments prélevés à Port-en-Bessin. Cette homogénéité est également observée sur les fractions minérales données dans le même tableau.

Tableau 1. Données granulométriques des sédiments de Port-en-Bessin.

	PEB A-1	PEB B-1	PEB C-1	PEB D-1
D10 (μm)	2	1,92	1,5	2,2
D50 (μm)	12	11,1	10,6	12,5
D90 (μm)	78,4	66,7	72	73,6
Fraction argileuse (<2 μm) (%)	10,7	10,6	13,8	9
Fraction silteuse (2 à 63 μm) (%)	77,2	78,8	74,8	78,8
Fraction sableuse (> 63 μm) (%)	12,6	10,6	11,5	12,2

Selon ces résultats, nous pouvons dire que les sédiments de Port-en-Bessin sont majoritairement silteux.

Un des ajouts concerne la fumée de silice dont la finesse est la caractéristique essentielle de la réaction pouzzolanique. Cette réaction permet aux particules des fumées de silice d'être absorbées par celles du ciment et d'empêcher celui-ci de flocculer. De plus, les micro-particules de fumée de silice peuvent diminuer l'espace vide entre les particules du ciment. Ceci provoque ainsi la diminution du rapport E/C du mélange (E, masse d'eau et C, masse de liants, à savoir, l'ensemble fumée de silice, chaux et ciment).

En effet, moins il y a d'espaces vides dans le mélange, moins le mélange a besoin d'eau. Ceci contribue à faire chuter le rapport E/C du mélange. Les particules fines du ciment ont également la capacité de combler les espaces vides, mais elles se dissolvent rapidement dans l'eau, ce qui n'est pas efficace pour faire du remplissage. Notons qu'avec un faible rapport E/C, on peut atténuer phénomène de gonflement/expansion. Par contre, avec un rapport élevé de E/C, le mélange a plus d'espaces disponibles ce qui permet l'hydratation du milieu poreux et la formation de nombreux cristaux

d'hydroxyde de calcium et d'citringite, composés responsables du phénomène de gonflement/expansion. La figure 1 rassemble les granulométries des 3 différentes fumées de silice, et des liants (chaux et ciment) utilisés dans cette étude. Le matériau le plus fin est la chaux, puis le ciment jusqu'au diamètre 10 μm et la fumée de silice de type 1 et de type 2. Parmi les 3 fumées de silice retenues, la fumée de silice de type 2 (FS2) contient des particules dont le diamètre est le plus élevé (200 μm). Dès lors, nous pouvons considérer que la fumée de silice de type 2 (FS2) sera la moins réactive. Comme expliqué auparavant, la réactivité d'une fumée de silice dépend de sa finesse et de ses caractéristiques chimiques pour diminuer les espaces vides entre les particules de ciment afin de fournir une résistance additionnelle. En revanche, vis-à-vis de la finesse des particules, la fumée de silice de type 1 est la plus réactive. Ceci sera corroboré par la suite avec les essais mécaniques (compression simple) opérés sur les mélanges.

Tableau 2. *Granulométries des ajouts et liants : fumées de silice, chaux et ciment.*

	Chaux	Ciment	FS1	FS2	FS3
D10 (μm)	0,5	0,6	4,0	18,2	6
D50 (μm)	11,3	32,6	32,3	153	49,7
D90 (μm)	172	730	93	397	118
Fraction argileuse (<2 μm) (%)	18,3	15,2	7,3	3,3	4,3
Fraction silteuse (2 à 63 μm) (%)	63,1	53,3	70,9	18,9	55,5
Fraction sableuse (>63 μm) (%)	19,7	31,5	22,7	78,8	40,1

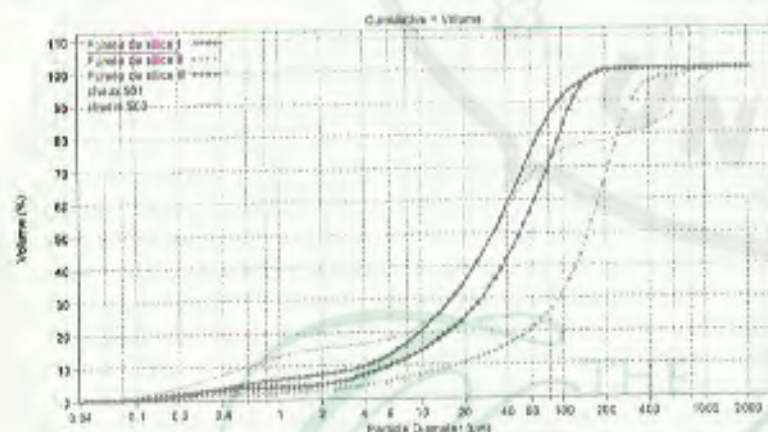


Figure 1. *Courbes granulométriques des fumées de silice, de la chaux et du ciment.*

2.2 Caractéristiques chimiques

Les caractéristiques des trois types de fumée de silice retenues sont présentées sur le tableau 3. Les résultats montrent que la fumée de silice de type 1 (FS1) contient un pourcentage de dioxyde de silice (SiO_2) plus important.

Tableau 3. *Composition chimique des trois fumées de silice utilisées.*

	FS 1	FS 2	FS 3
Couleur	Grise claire	Bleue	Grise foncée
Dioxyde de silice (SiO_2)	90 - 92	85-90	90 - 93
Oxyde de fer (Fe_2O_3)	1,5 - 2	1,5 - 2	1,5 - 2
Oxyde d'aluminium (Al_2O_3)	1	1	1-1,5
Oxyde de calcium (CaO)	0,5 - 1	0,5 - 1	0,5 - 1
Oxyde de magnésium (MgO)	1 - 1,5	1 - 1,5	1
Oxyde de sodium (Na_2O)	0,5 - 1	1 - 1,5	0,8 - 1
Oxyde de potassium (K_2O)	1 - 1,3	1 - 1,3	1,3 - 1,5
Carbone (C)	0,5 - 1	1-1,5	1 - 1,5
Si libre (%)	< 0,2	< 0,4	< 0,4
CaO libre (%)	< 1	< 2	< 1
SO_3 (%)	< 1	< 2	< 1
Cl (%)	< 0,2	< 0,5	< 0,1
Surface spécifique (m^2/g)	18 - 25	15 - 30	15 - 35
Masse volumique (kg/m^3)	500 - 700	500 - 700	500 - 650

Le fort pourcentage de SiO_2 est un facteur important dans l'évolution des performances mécaniques des échantillons. En effet, le SiO_2 contribue à la production du silicate calcique hydraté C-S-H. Ce produit une fois hydraté renforce les liaisons entre les particules des sédiments ce qui leur procure une résistance plus élevée. La fumée de silice de type 2 (FS2) présente un pourcentage de SiO_2 inférieur aux autres. Pour situer la réactivité de ces fumées, des échantillons ont été préparés uniquement à base de liants. Ceci a permis de visualiser les réactions intervenant entre chaque constituants et ainsi de fixer des références qui permettront par la suite de mener des comparaisons pour chaque mélange de sédiments. En effet, grâce à la fourniture de la silice et de l'alumine par les minéraux argileux contenus dans les sols fins, les réactions pouzzolaniques peuvent durer plusieurs années et contribuent ainsi à améliorer, à long terme, la résistance des ouvrages en créant des produits aux capacités liantes telle que la silicate calcique hydraté (C-S-H) et l'aluminat calcique hydraté (C-A-H). Ainsi, on peut dire que la fumée de silice de type 1 (FS1) contribuera de façon plus importante à l'augmentation des performances mécaniques des sédiments traités par rapport aux autres liants. La fumée de silice de type 2 (FS2) possède un pourcentage de chaux libre et de CaO plus important. La teneur en chaux libre/CaO est également un paramètre important pour assurer la réussite de la réaction pouzzolanique des liants utilisés. Par

nous pouvons constater que la différence au niveau des caractéristiques des fumées de silices provoque des différences au niveau des résistances mécaniques obtenues. Théoriquement, grâce à ses particules fines, la fumée de silice occupe les espaces des pores et réduit une partie des espaces vides qui n'ont pas été remplis par le produit des hydrations du ciment. Mais cet effet va se montrer plus important quand l'âge des éprouvettes augmente. En effet, avec l'âge des éprouvettes, la réaction pouzzolanique survient. Donc, selon la granulométrie ou la finesse des particules, le mélange traité avec la fumée de silice de type 1 (FS1) devrait en principe fournir la résistance supérieure aux autres. Mais les résultats obtenus montrent que le mélange avec la fumée de silice type 3 (FS3) possède une meilleure résistance que celui traité avec la fumée de silice de type 1 (FS1). On peut suggérer que ce sont alors les caractéristiques chimiques de la fumée de silice qui seraient alors à l'origine de cette augmentation de résistance.

3.2.2 Essais de compression simple avec une incorporation de 5% de sable

Nous observons que les résistances en compression simple obtenues pour tous les mélanges avec un ajout de 5% de sable, après 28 jours sont supérieures à 1 MPa, ce qui signifie que le mélange utilisé serait satisfaisant pour être appliqué en travaux routiers. Les résultats montrent également que l'augmentation de la résistance du mélange traité avec FS3 est plus importante que celles des autres mélanges.

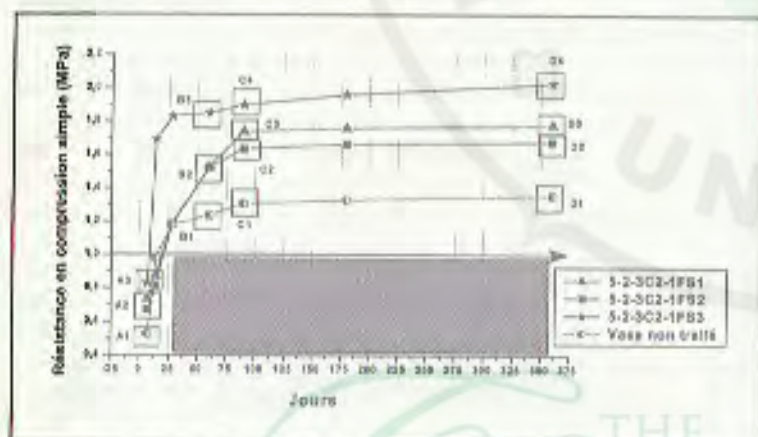


Figure 3. Evolution de R_c pour le sédiment traité avec différents types de fumée de silice avec une addition de 5% de sable.

Cette augmentation peut être vérifiée depuis l'évolution des performances mécaniques aux jeunes âges, i.e. 7 jours. Sur la figure 3, nous pouvons constater que les résistances

aux jeunes âges peuvent être différenciées : celle du mélange pour le sédiment non traité (voir A1 sur la figure 3), celle des mélanges traités avec FS1 et FS2 (voir A2 sur la figure 3), et celle du mélange traité avec FS3 (voir A3 sur la figure 3). L'augmentation des résistances aux jeunes âges est théoriquement attribuée à la rapide hydratation du ciment faisant en sorte qu'en augmentant le pourcentage du ciment nous augmentons la performance mécanique du mélange. Donc nous pouvons constater que l'addition de fumée de silice FS3 donne un effet positif sur l'hydratation du ciment. Cet effet dû à FS3 est bien meilleur que pour les autres types de fumées de silice. Nous estimons que cet effet positif de FS3 ne provient pas de sa granulométrie. Nous rappelons que la fumée de silice de type 1 (FS1) contient des particules fines avec des pourcentages plus importants que la fumée de silice type 3 (FS3). La résistance du mélange traité avec FS3 est toujours supérieure, quel que soit l'âge même à long terme (voir C4 et D4 sur la figure 3) avec une valeur de résistance à 360 jours de 2,03 MPa. L'augmentation de la résistance avec FS3 est de 33% par rapport au sédiment non traité, elle est respectivement de 23,59% (FS1) et 19% (FS2) pour les mélanges traités avec FS1 et FS2.

3.2.3 Essais de compression simple avec une incorporation de 0 à 15% de sable

L'évolution des résistances à 7 jours montre que tous les mélanges ont une valeur presque identique (voir A2 sur la figure 4). A 14 jours, le mélange traité avec FS3 affiche déjà une valeur supérieure aux autres. Ces résultats prouvent encore une fois que la fumée de silice de type 3 (FS3) qui a une réactivité assez importante, joue un rôle et fournit une résistance additionnelle sur le mélange.

Les résistances à 28 jours pour tous les mélanges traités avec la fumée de silice dépassent 1 MPa. L'évolution des résistances à 60 jours montre une tendance d'évolution identique à celle des mélanges sans ajout de sable (voir C3 sur la figure 4). Nous pouvons voir que la résistance du mélange traité avec FS1 donne une valeur de 1,9 MPa supérieure aux autres. La figure 4 montre également que c'est le mélange traité avec de la fumée de silice de type 2 (FS2) qui a la plus faible valeur de résistance entre tous les mélanges (voir C2 sur la figure 4).

Parmi les mélanges traités avec 15% de sable, en considérant l'évolution de la résistance à long terme (360 jours), c'est le mélange traité avec FS2 qui serait le meilleur comparativement aux autres mélanges (voir D2, D3 et D4 sur la figure 4). Une comparaison de la résistance entre les mélanges traités sans sable, avec 5% et 15% de sable est également présentée sur la figure 4. Seuls les mélanges traités avec FS3 sans sable (0-2-3C2-1FS3) et avec 5% de sable (5-2-3C2-1FS3) ont été retenus parce que ces deux mélanges sont considérés comme étant les meilleurs mélanges (composition). En effet, l'addition de 15% de sable montre une diminution de résistance depuis l'âge de 7 jours jusqu'à 360 jours, excepté à l'âge 60 jours où le mélange traité avec FS3 et 15%

de sable donne une valeur de résistance presque identique à celle des mélanges avec 5% de sable et sans un ajout de sable (voir C3 sur la figure 4).

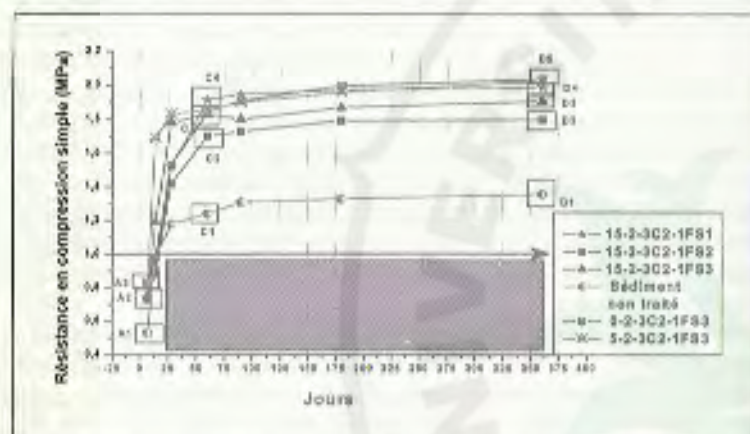


Figure 4. Evolution de R_c pour le sédiment traité avec différents types de fumée de silice avec une addition allant de 0 à 15% de sable.

3.3 Analyse des résultats des essais de mouillage/séchage

L'essai consiste à comparer les résistances mécaniques en compression simple d'éprouvettes d'âge t_0 et ayant subi 10 cycles de mouillage/séchage avec des éprouvettes témoins de même âge et conservées à la température ambiante. Le but des ces essais est d'apprécier la durabilité des échantillons solidifiés lorsqu'ils sont soumis à des cycles répétés de mouillage/séchage. La méthodologie d'essai est tirée et modifiée du protocole d'évaluation proposé pour les déchets solidifiés à base de ciment (STEGEMANN & COTE, 1992). Chaque cycle de mouillage/séchage commence par une phase de séchage de 24 heures à 60°C suivie par une phase de mouillage également fixée à 24 heures et réalisée par immersion totale dans l'eau à température ambiante. Les 10 cycles d'essai sont réalisés sur 20 jours. D'après RAO *et al.* (2001), les cycles de mouillage-séchage ont un effet négatif sur la durabilité des sédiments stabilisés par la chaux. Il ne faudrait donc pas traiter des sédiments fins à la chaux seule dans les régions qui peuvent subir des cycles mouillage-séchage importants.

3.3.1 Essais de mouillage/séchage des mélanges sans sable

Les résultats sont indiqués à la figure 5. L'éprouvette traitée avec de la fumée de silice FS1 montre une résistance presque similaire à l'éprouvette traitée avec de la fumée de silice FS3, avec une valeur de 0,6 MPa. Par contre, pour les éprouvettes de sédiments

traités avec de la fumée de silice de type FS2, le pourcentage de perte de résistance s'avère le plus important (71,6%), avec une résistance obtenue de 0,49 MPa. Selon ces résultats, nous pouvons conclure que la fumée de silice de type FS3 présente une moindre perte de résistance aux cycles de mouillage-séchage par rapport aux autres types de fumées de silice.

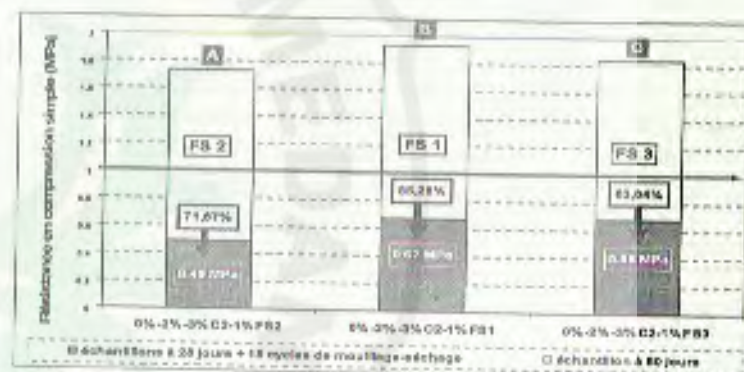


Figure 5. Evolution de la résistance en compression simple d'éprouvettes soumises à des cycles de mouillage-séchage, sans ajout de sable.

3.3.2 Essais de mouillage/séchage des mélanges avec un ajout de 5% de sable

Observons les résultats de la figure 6. Nous estimons que la meilleure formulation d'un mélange avec 5% de sable, est celle incluant de la fumée de silice type 2 (FS2). Par contre, la meilleure résistance après les essais de mouillage-séchage est celle obtenue avec le mélange traité avec FS3 avec (0,87 MPa).

Nous pouvons également remarquer que l'ajout de 5% de sable provoque une augmentation assez importante des résistances aux cycles de mouillage-séchage par rapport aux mélanges réalisés sans sable. L'ajout de 5% de sable donne 21,83% d'augmentation de la résistance aux cycles de mouillage-séchage pour le mélange traité avec FS3. Ces résultats peuvent confirmer que l'ajout de 5% de sable fournit une augmentation de la résistance aux cycles de mouillage-séchage très importante pour le mélange traité avec la fumée de silice type 2 (FS2).

3.3.3 Essais de mouillage/séchage des mélanges traités avec un ajout de 15% de sable

Dans cette série d'essais, les résultats montrent que le mélange traité avec la fumée de silice de type 3 (FS3) a la perte de résistance la plus faible, égale à 45,23% (voir A sur la figure 7). Mais la résistance finale au bout de 28 jours et après les cycles de mouillage-séchage pour le mélange traité avec FS1 est la plus élevée (0,94 MPa), voir C sur la figure 7.

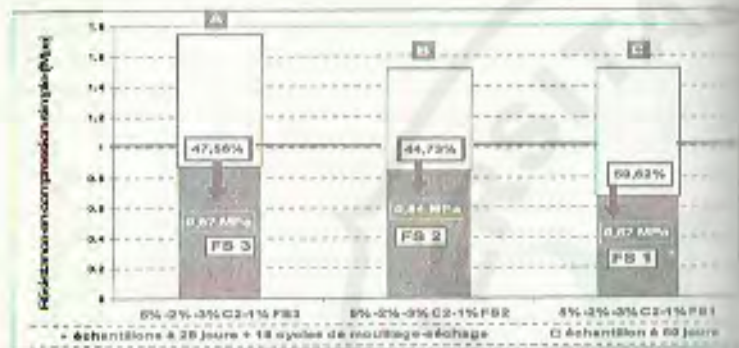


Figure 6. Evolution de la résistance en compression simple d'éprouvettes soumises à des cycles de mouillage-séchage avec 5% de sable.

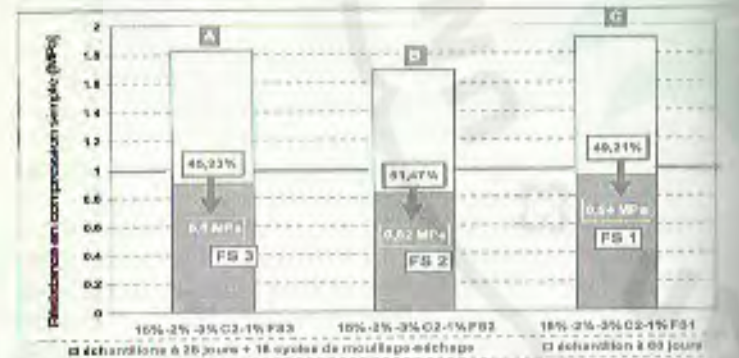


Figure 7. Evolution de la résistance en compression simple d'éprouvettes soumises à des cycles de mouillage-séchage avec 15% de sable.

Nous estimons que la meilleure formule pour un mélange avec 15% de sable, est établie avec la fumée de silice type 3 (FS3). Les résultats démontrent qu'un ajout de sable fournit une augmentation de la résistance aux cycles de mouillage-séchage, ce qui est important pour le mélange traité avec FS3. En général, l'ajout de 15% de sable donne une meilleure résistance aux cycles de mouillage-séchage (par rapport aux mélanges avec un ajout de 5% de sable comme sans sable) pour tous les mélanges sauf pour le mélange traité avec FS2.

4. Conclusions

L'objectif de ce travail et des essais réalisés, consistait à améliorer les propriétés mécaniques et environnementales de sédiments fins dragués de Port-en-Bessin pour une réutilisation en couche de forme ou de fondation routière. Dans ces traitements à base de fumée de silice, différentes formulations en liants ont été effectuées. Le dosage en liant est principalement constitué de 2% de ciment, de 3% de chaux, et de 1% de fumée de silice. Une attention particulière a été portée pour ne pas dépasser un pourcentage maximum de 9% de liant, taux généralement utilisé dans les travaux routiers et acceptable du point de vue économique. L'effet d'une incorporation de sable comme correcteur de granulométrie a montré un effet irrégulier sur les performances mécaniques des mélanges. Ceci peut être dû à l'incohérence de la granulométrie du sable utilisé. On rappelle que le choix de ce sable était purement économique. La présence d'un liant pozzolanique (fumée de silice) montre une amélioration des performances mécaniques notamment en résistance à la compression simple. La présence de la fumée de silice montre une amélioration de la résistance en compression simple aux jeunes âges et à long terme. Le mélange traité avec la fumée de silice de type 3 (FS3) sans sable (0-2-3C2-1FS3) et avec 5% de sable (5-2-3C2-1FS3) ont été finalement retenus parce que ces deux mélanges sont considérés comme étant les meilleurs mélanges.

L'essai de durabilité en conditions extrêmes est étudié au travers l'essai de mouillage-séchage. Une addition de 15% de sable donne une meilleure résistance aux cycles de mouillage-séchage (par rapport aux mélanges avec une incorporation de 5% de sable ou sans sable). Cette étude complète de caractérisation physico-chimique et géotechnique d'un sédiment de dragage contaminé, en laboratoire en vue d'une valorisation des sédiments, peut servir de modèle pour de futures études à mener dans ce domaine.

5. Références

- MAVAPISIT S., NANTAMONTRY W., POLPRASERT C. (2001). *Influence of condensed silica fume on the properties of cement-based solidified waste*. Cement and Concrete Research, Vol. 31, pp 1147-1152. doi:10.1016/S0885-3949(01)00541-5
- BAGHERPOUR I., CHOBASTI A.J. (2003). *Stabilization of fine-grained soils by adding microsilica and lime or microsilica and cement*. The electronic journal of geotechnical engineering, Volume 8B, 8 p.
- SHIMANESH J. (2008). *Etude de la durabilité d'un sédiment, traité au ciment et stabilisé*, Thèse de doctorat de l'Université de Caen. 214 p.
- LOCKE D.L., MOLLAH M.Y.A. (1992). *The chemistry and microstructure of solidified waste forms*. In: R.D. Spense (Ed.), Chemistry and microstructure of solidified waste forms (Ed. by R.D. Spense), pp. 1-39. Lewis.
- LOCKE D.L., MOLLAH M.Y.A. (1993). *The chemistry and leaching mechanisms of hazardous substances in cementitious solidification/stabilization systems*. In: R.D.



- Spence (Ed.), Chemistry and microstructure of solidified waste forms (Lewis, Spence), pp 187-242. Lewis.
- COCKE D.L., ORTEGO J.D., MCWHINNEY H.G., LEE K., SHULMAN L. (1999). *A model for lead retardation of cement setting*. Cement and Concrete Research, pp 156-159. doi:10.1016/S0008-9045(99)90778-1
- GARCIA M.A., CHIMENOS J.M., FERNANDEZ A.I., MIRALLAS F., GARCIA M., ESPILL F. (2004). *Low-grade MgO used stabilize heavy metal in contaminated soils*. Chemosphere, 56, pp 481-491. doi:10.1016/j.chemosphere.2003.11.011
- LEMEE F. (2006). *Traitement par alcali activation de sédiments fins et de contaminants et à faibles teneur en eau, mise au point d'un procédé de traitement*. Thèse de doctorat, Université de Caen. 187 p.
- RAO S.M., REDDY B.V.V., MUTTHARAM M. (2001). *The impact of curing and drying on the swelling behaviour of stabilized expansive soils*. Geology, Vol. 60, pp 23-233. doi:10.1016/S0013-7952(03)00103-4
- STEGEMANN J.A., COTE P.L. (1992). *Protocole d'évaluation pour les déchets solidifiés à base de ciment*. Série de la protection de l'environnement. Environnement Canada, 49 p.

Traitement et valorisation des sédiments marins

Sophie TREVES¹

¹ ALLU France, 4 rue du Docteur Guyot, 21420 Savigny-lès-Beaune, France.
sophie.treves@allu.net

Résumé :

En France, les boues de dragage des ports qui représentent chaque année plus de 50 millions de m³ sont encore trop souvent immergées à quelques kilomètres des côtes dans les zones autorisées des fonds marins. Malgré des réglementations strictes, l'immersion des boues de dragage est fréquemment la seule possibilité retenue. Ce n'est pourtant pas la seule solution viable, mais la moins onéreuse à très court terme car elle ne prend pas en compte les coûts écologiques et sanitaires à venir.

Pour une partie de ces sédiments dragués, la proportion des polluants est de plus en plus élevée à cause des productions industrielles. L'immersion et le dépôt risquent de redistribuer des polluants en milieu naturel.

Il existe cependant des méthodes et du matériel éprouvés pour une gestion des boues en alternative aux immersions que nous présentons dans cette communication.

Mots-clés :

Sédiments marins – Traitement sur site – Stabilisation en masse – Amélioration des sols – Contamination – Travaux maritimes – Valorisation – Environnement – Dragage

1. Introduction

Chaque année plusieurs milliers de tonnes de sédiments sont dragués dans les zones portuaires françaises.

Ces sédiments sont considérés comme un matériau complexe à appréhender de par la diversité des granulométries, les fortes teneurs en eau, en sel et en matières organiques ainsi que la présence éventuelle de polluants organiques ou inorganiques.

Avec le renforcement de la réglementation sur le clapage en mer des sédiments dragués dans les ports, les entreprises en charge des travaux de dragage et d'aménagement des zones portuaires se tournent vers la stabilisation *in situ*.

2. Matériel et méthodes

Le procédé de stabilisation permet de traiter la pollution des sédiments tout en améliorant les propriétés mécaniques des matériaux. L'intérêt de cette méthode est de pouvoir maîtriser la pollution tout en transformant les sédiments en des matériaux utilisables en remblais par exemple.

A ce jour deux techniques différentes utilisant le système de stabilisation ALLU (ALLU, site web), composé d'un puissant malaxeur et d'un silo mobile, ont été