

Solidification/stabilisation des vases à base de chaux et additifs. Concepts comportementaux et lixiviation

Francis Rey, Daniel Levacher, Jean-Louis Quenec'h

▶ **To cite this version:**

Francis Rey, Daniel Levacher, Jean-Louis Quenec'h. Solidification/stabilisation des vases à base de chaux et additifs. Concepts comportementaux et lixiviation. Environnement, Ingénierie & Développement, 2000, N°18 - 2ème trimestre 2000, pp.27-32. 10.4267/dechets-sciences-techniques.400 . hal-03181586

HAL Id: hal-03181586
https://hal.science/hal-03181586

Submitted on 25 Mar 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution| 4.0 International License

SOLIDIFICATION/STABILISATION DES VASES À BASE DE CHAUX ET ADDITIFS

CONCEPTS COMPORTEMENTAUX ET LIXIVIATION

Francis Rey* et**, Daniel Levacher*, Jean-Louis Quénec'h**
Upres A 6143 Caen - École supérieure d'ingénieurs des travaux de la construction de Caen

Devant la situation actuelle préoccupante du devenir des matériaux vasards contaminés, le traitement par Solidification/Stabilisation (S/S) est une solution pouvant permettre leur valorisation en génie civil.
Après une étude qui a permis d'identifier les mécanismes physico-chimiques clefs responsables des évolutions physico-mécaniques complexes de ce type de composites, une étude de lixiviation a été conduite afin d'étudier l'efficacité et le type d'immobilisation des métaux lourds au sein des matrices. Les résultats nous amènent à considérer différents potentiels d'immobilisation suivant les métaux considérés.

Sludge materials pose a problem for harbour and coastal engineers in respect with the environment rules. The stabilisation/solidification (S/S concept) constitutes one way to reuse them as civil construction materials. After détermination the fundamental mechanisms governing the complex physical-chemical evolutions of this composites, lixiviation tests were improved in order to study the efficiency and type of contaminants mobility. The results allow to consider different mobility potentials according to the studied metals.

INTRODUCTION

Les activités de dragage génèrent annuellement des volumes de matériaux vasards considérables (environ 50 millions de m^3 en France ; Alzieu 1999). Les gestions traditionnelles de ces matériaux semblent condamnées à plus ou moins court terme du fait de la raréfaction des sites de dépôts terrestres et suite à l'évolution de la réglementation pour les immersions en mer (Géode 1994). En effet, une importante part de ces matériaux contient des quantités non négligeables de contaminants, ce qui représente des risques pour le milieu marin. Devant cette situation la valorisation après traitement de S/S est une solution alternative attrayante. Plusieurs études ainsi que des projets industriels, notamment au Japon (Kamon *et al.* 1990) et au Canada (Stegeman 1991) semblent confirmer l'intérêt de la technique.

Dans ce cadre, des travaux visant à définir les propriétés mécaniques, physiques et environnementales des matériaux après une technique de solidification/stabilisation ont été menés. Parmi ceux-ci, le traitement des vases à la chaux plus additifs est une approche intéressante.
L'ajout de chaux vive à la vase brute et remaniée en sortie du dragage, confère rapidement aux vases une structure grumeleuse organo-minérale sitôt que la réaction fortement exothermique d'extinction a eu lieu. Les opérations de manipulation, stockage ou transport, sont alors simplifiées. À ce stade, l'obtention d'un matériau monolithique, susceptible de répondre aux exigences mécaniques et environnementales liées, par exemple, à une utilisation en construction routière, passe par l'ajout d'un liant et un compactage. Cette méthode permet de constituer un matériau monolithique, insoluble et le moins poreux possible.

CARACTÉRISTIQUES ET POLLUTIONS DES VASES UTILISÉES

Les vases utilisées proviennent du port autonome du Havre (Seine-Maritime) et du port de plaisance de Dives-sur-Mer (Calvados). Les vases du Havre sont issues d'un dragage mécanique à godets alors que la vase de Dives provient d'un dragage hydraulique. *In situ*, les matériaux ont une teneur en eau (masse d'eau/masse sèche) variant ordinairement de 130 à 160 %. Cette variation est essentiellement due à l'état de consolidation de la vase alors que le moyen de prélèvement aura une influence considérable dans un second temps. Les principales caractéristiques physico-chimiques des prélèvements sont résumées dans le tableau 1.
Les deux vases sont semblables d'un point de vue granulométrique et minéralogique. Les phases majoritaires sont le quartz et les carbonates. Dans les deux cas également, les minéraux phyliteux sont peu présents. Ces caractéristiques sont une spécificité des sédiments côtiers de la baie de Seine. La solution interstitielle contient des sels dissous provenant de la nature marine des matériaux. La valeur du carbone organique total (COT) suffit à donner un caractère nettement organique au produit en constituant un gel organo-métallique noir-brun caractéristique des matériaux vasards et de leurs propriétés particulières de consolidation et de

viscosité. La matière organique est principalement constituée de substances humifiées (SH) dont les constituants sont l'humine (insoluble et fortement associée à la phase minérale), les acides humiques (solubles en milieu alcalin) et les acides fulviques en solution. Ces composés, qui sont des polymères complexes de structures non définies à noyaux aromatiques, ont de fortes propriétés de complexation avec les éléments et particules chargées (Busnot 1991). Ils constituent de ce fait les principaux agents de concentration et de rétention des contaminants au sein du matériau vasard après floculation/coagulation et décantation des agrégats minéralo-organiques.

Tableau 1 : Caractéristiques des vases utilisées

Caractéristiques physico-chimiques	Dives	Le Havre
Teneur en eau : w (%)*	170-182	128-134
Densité de la phase solide : d*	2,65	2,63
Indice de plasticité : I_p (%)*	5	55
Argile (< à 2 μm) (%)**	23	31
Silt (2 à 64 μm) (%)**	73	67
Sable (> à 64 μm) (%)**	4	2
Indice de floculation : I_f (%)***	60	46
Quartz (%)	40	43
Carbonates (%)	42	38
Feldspaths et micas (%)	5,5	3
Argiles (%)	3	3
Chlorures (%)	3,08	2,40
Sulfates (%)	0,41	0,17
COT (%)	2,88	3,23

* Pour un séchage à 105 °C

** Matériau défloculé (H_2O_2 et hexamétaphosphate de sodium)

*** I_f = 100. ($d_{50,\ vase\ brute}$ - $d_{50,\ vase\ déloculée}$)/$d_{50,\ vase\ brute}$

Tableau 2 : Teneurs en métaux lourds des vases

Métaux* (mg/kg sec)	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Dives	0,72	75	35	23	57	195
Le Havre	1,64	109	56	23	102	209
BdF**	0,5	45	35	20	47	115
Niveau 1**	1,2	90	45	37	100	276

* : As, Hg, Se et PCB : polluants non-dosés

** : Recommandation Géode 1994

La teneur totale des contaminants métalliques est obtenue après minéralisation totale de l'échantillon conformément à la norme NF X 31-151. Le dosage est ensuite réalisé après reprise des cendres par spectrométrie d'absorption atomique four. Les résultats sont présentés dans le tableau 2.

D'après la recommandation Géode (1994), la vase de Dives, pour ces métaux, est faiblement nuisible pour l'environnement marin dans la mesure où la contamination est comprise entre le bruit de fond « géologique » (BdF) et le niveau 1 de cette grille. Pour la vase du Havre, la situation est bien différente. Les teneurs en Cd, Cr, Cu et Pb sont comparativement bien supérieures à la vase de Dives tout en étant supérieures au niveau 1. Dans ce cas, l'immersion comporte un risque, d'autant plus que le cadmium (Cd) qui est particulièrement toxique, semble présent à une teneur supérieure à 3 fois le BdF. Pour ce site, trouver une solution alternative à l'immersion est donc une priorité. Le sédiment étudié est, de plus, plutôt représentatif de la moyenne des vases draguées et ne constitue en rien un échantillon particulièrement pollué.

PARAMÈTRES DU PROCÉDÉ DE S/S ET CONFECTION DES ÉPROUVETTES

Pour cette étude, deux types d'ajouts ont été employés : un ciment CPJ CEM II A/32,5 R courant et des cendres volantes (CV) de houille de centrale thermique.

Avec ces deux types d'ajouts, employés séparément, il a été possible d'apprécier l'effet distinct des deux familles de liants courants appliqués à la solidification/stabilisation. Le CPJ est un liant hydraulique à prise rapide où la formation des composés cimentiers dépend de l'hydratation des éléments anhydres du clinker, alors que la formation des composés pouzzolaniques semblables dépend initialement de la lente dissolution et diffusion interstitielle des phases plus ou moins amorphes de l'ajout.

Les travaux de Boutouil (1998) sur la solidification/stabilisation des vases à base de ciment et additifs ont montré que le type et la classe de ciment (CPJ 32,5 ; CPA 52,5 ; CPA PM 52,5), à dosages modérés, avaient peu d'influence sur la résistance des composites vase-ciment. Le choix s'est donc porté sur le plus économique. Les cendres volantes retenues se caractérisent essentiellement dans leur composition par l'absence de chaux. Ainsi, en ajout au mélange vase-chaux, l'effet pouzzolanique attendu sera catalysé par la chaux qui est déjà, dans le mélange initial, théoriquement en excès.

Le malaxage des constituants est réalisé en deux fois afin de bénéficier au maximum des propriétés d'absorption et d'évaporation d'eau de la chaux ainsi que de la floculation organo-calcique qui transforme radicalement les boues et minimise les interférences SH-liant. Le mélange de la vase avec la chaux précède donc (1/2 journée) celui réalisé avec l'ajout. Le dosage en chaux (x) est un rapport pondéral par rapport à la masse de vase brute. Le dosage en ajout (y) est exprimé par rapport à la masse de mélange vase-chaux après maturation (voir tableau 3).

Immédiatement après le malaxage avec l'ajout, des éprouvettes sont réalisées par compactage quasi statique dans des moules cylindriques suivant un mode opératoire analogue à celui de la norme NF P 98-230-2 sur les sols traités. Les éprouvettes, de 38,6 ±0,1) mm de diamètre sur 77 ±1) mm de hauteur ont, après extrusion, une masse volumique équivalente ±1 %) à

Tableau 3 : Dosages et facteurs de changement de volume (FCV) du procédé de S/S

Vase	Chaux *x* (%)	Ajout *y* (%)	FCV* Ciment	FCV* CV	Légendes des figures	
Dives	49 - 52	7	1,09	1,15	D-52-7-C	D-52-7-CV
Dives	49 - 52	17	1,15	1,28	D-52-17-C	D-52-17-CV
Dives	49 - 52	29	1,28	1,37	D-52-29-C	D-52-29-CV
Dives	42	18	1,12	1,18	D-42-18-C	D-42-18-CV
Dives	36	27	1,14	1,24	D-36-27-C	D-36-27-CV
Le Havre	38 - 40	7	1,07	1,10	H-39-7-C	H-39-7-CV
Le Havre	38 - 40	17	1,12	1,19	H-39-17-C	H-39-17-CV
Le Havre	38 - 40	29	1,21	1,33	H-39-29-C	H-39-29-CV
Le Havre	33	18	1,13	1,20	H-33-18-C	H-33-18-CV
Le Havre	27	27	1,17	1,26	H-27-27-C	H-27-27-CV

* Facteur de changement de volume = Vol. composite/Vol. vase brute

celle obtenue préalablement après un essai Proctor modifié (NF P 94-093). Ainsi les caractéristiques mécaniques et physico-chimiques des éprouvettes sont déterminées pour une consistance correspondant à une énergie de compactage constante et faisant référence dans les travaux routiers. Notons également que les dosages minimaux employés, et particulièrement celui en chaux, sont une conséquence directe de cette méthodologie de confection et notamment de la faisabilité de réalisation de l'essai de compactage dynamique Proctor. Les éprouvettes sont ensuite conservées en moules quasi hermétiques à 20 (±2) °C.

Les valeurs du FCV montrent systématiquement, qu'à dosages identiques, les composites avec ajout de CV sont moins compressibles que ceux obtenus avec un ajout de type ciment. Ceci est la conséquence de la densité absolue plus élevée du ciment et de son hydratation avant compactage alors que les CV sont à considérer à très court terme comme une poudre inerte.

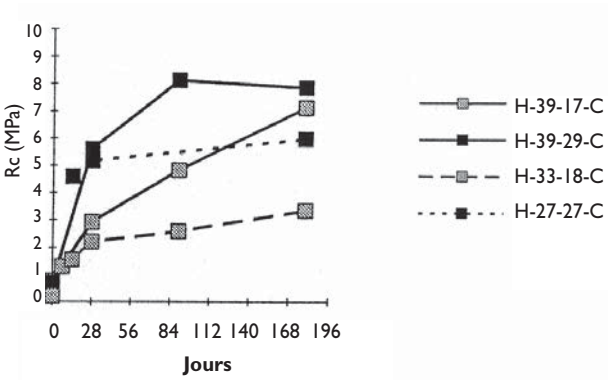


Figure 1a : Composites ciment

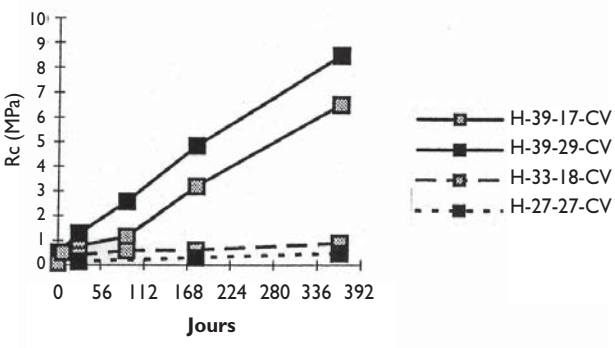


Figure 1b : Composites CV

Figure 1 : Évolution des résistances en compression simple Influence du dosage en chaux et de la cinétique de réaction

PROBLÉMATIQUE DU TRAITEMENT ET CONCEPTS PHYSICO-MÉCANIQUES

Interférences des SH sur les cinétiques de formation des composés de cimentation

Lors du traitement des vases avec les liants hydrauliques, les substances humiques (SH) interfèrent fortement sur les processus d'hydratation ou de formation des phases cimentières. Les composés organiques agissent comme des agents retardateurs de prise : adsorption sur les surfaces anhydres, complexation avec les ions en solution (Jolicoeur *et al.* 1998). Ils agissent également ici par immobilisation physiquement des ions dans le gel organique. Ces interférences sont très importantes et font considérablement chuter la résistance des matériaux à court et moyen terme (Kujala *et al.* 1996). L'action du dosage préliminaire en chaux joue un rôle déterminant dans la cinétique de ce processus retardateur (voir figure 1 : Rey 1999).

Chimiquement la forte concentration en Ca^{2+}, conduit à saturer la capacité d'échange cationique des SH. Les futures interférences sur les liants sont ainsi réduites. La chaux est également susceptible de développer une réaction pouzzolanique avec les minéraux naturels résultant de la mise en solution de fines particules minérales peu ou non cristallisées suite à l'attaque de la solution calcobasique (Le Roux 1969). Ceci conduit normalement, à plus ou moins long terme, à la formation, entre autres, de silicates de calcium hydratés (CSH) stables semblables à ceux formés par les ciments et aboutit donc à une solidification. Cependant à court et moyen terme le caractère nettement organique des vases inhibe totalement ce type de réaction (Rey *et al.* 1998). Outre les effets physico-chimiques inhibiteurs précédemment cités, il faut ajouter le rôle de membrane protectrice que constitue l'humine autour des minéraux.

Physiquement, le dosage en chaux est la cause de la floculation immédiate d'agrégats structuraux minéralo-organiques par complexation multiples SH-*Ca*-SH. Ceux-ci viennent initialement jouer le rôle de « granulats visco-élasto-plastiques » dans les composites alors que les flocons formés sont d'autant plus denses que le milieu est asséché par la formation de portlandite (CH).

Minéralisation/transformation graduelle des SH

La solution calcobasique des matrices conduit à l'oxydation des SH ce qui entraîne leur solubilisation/minéralisation progressive. Cette transformation a de nombreuses conséquences et entre autres :
– une libération des éléments complexés (Ca, Al, Fe…) ainsi que des polluants ;
– une disponibilité des anions constitutifs des matières organiques (CO_3^{2-}; SO_4^{2-}…) ;
– une déstructuration des agrégats minéralo-organiques formés initialement.
Physiquement, la minéralisation/transformation des SH se traduit par des pertes plus ou moins importantes de matières sèches (Rey 1999).
Ainsi, peu à peu, l'activité chimique pour la formation des CSH peut se développer dans le cas où celle-ci serait initialement entravée. Ceci conduit alors à une solidification efficace du matériau : insolubilité dans l'eau et résistance de plusieurs MPa. Ce matériau devient alors potentiellement utilisable en génie civil (construction routière).

Interférences structurelles des SH

La formation de la matrice minérale se fait malgré tout en présence de forte concentration en polymères humiques. Les composés organiques, restent donc piégés dans les amas de précipitation et altèrent structurellement les produits d'hydratation (Jolicoeur 1998). La cinétique de réaction du liant est alors en interaction avec celle de la minéralisation/transformation des SH, ce qui a d'importantes conséquences.
La disparition des polymères humiques conduit à la disparition de l'armature polymérisée des structures minéralo-organiques et ainsi, peu à peu, à une déstructuration des agrégats organo-calciques. Dans la mesure où une structure coalescente minérale rigide les réunissait (dans le cas d'un liant à développement rapide des CSH) des faiblesses internes apparaissent. Ceci est probablement la cause des chutes des caractéristiques mécaniques à long terme (voir figure 2). Dans le cas d'un développement lent des CSH, ce mécanisme semble ne plus exister. En effet, aux membranes organiques des minéraux et aux liens organo-calciques se substituent probablement graduellement des liens CSH au cœur des structures floculées. La pérennité des caractéristiques mécaniques est alors assurée (voir figure 2).
Dans cette hypothèse, l'utilisation de liants et d'additifs susceptibles d'aboutir à un développement rapide des CSH semble donc à proscrire. L'emploi d'un liant pouzzolanique est par conséquent intéressant si l'on ne recherche pas une rigidification rapide. Une combinaison des deux types de liant semble néanmoins la plus intéressante dans le cas courant.

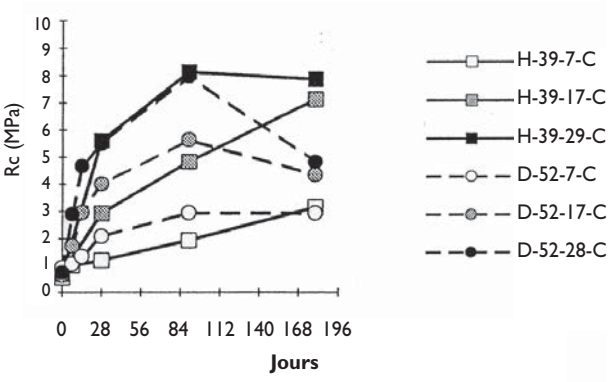


Figure 2a : Composites ciment

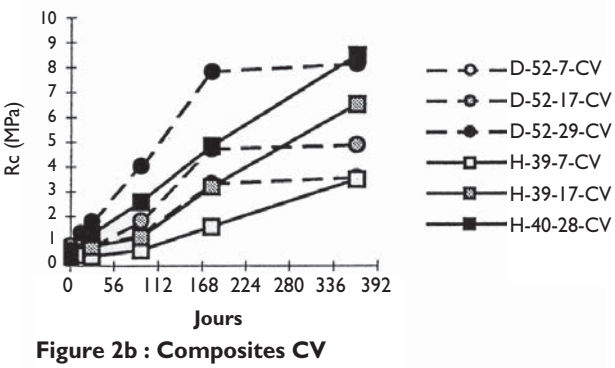


Figure 2b : Composites CV

Figure 2 : Évolution des résistances en compression simple - Influence du dosage en liant et de la cinétique de réaction

SPÉCIFICITÉS PHYSICO-CHIMIQUES DES MATRICES ET ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE

Développement des phases chloroaluminates

L'étude physico-chimique révèle qu'il y a une précipitation initiale de monochloroaluminates de calcium hydratés (CA*Cl*H) et que celle-ci se poursuit probablement très longtemps dans le temps au fur et à mesure que la minéralisation/transformation des SH s'opère. En effet, suivant les concentrations interstitielles respectives de $CaCl_2$, $CaSO_4$, H_2CO_3, et Al_2O_3, la libération de divers éléments rend de nouveau possible la formation des chloro (sulfo, calco) aluminates de calcium hydratés. La formation de monochloroaluminates est longtemps la plus probable. Les sulfoaluminates n'ont pas été détectés par DRX et la présence de chlorures

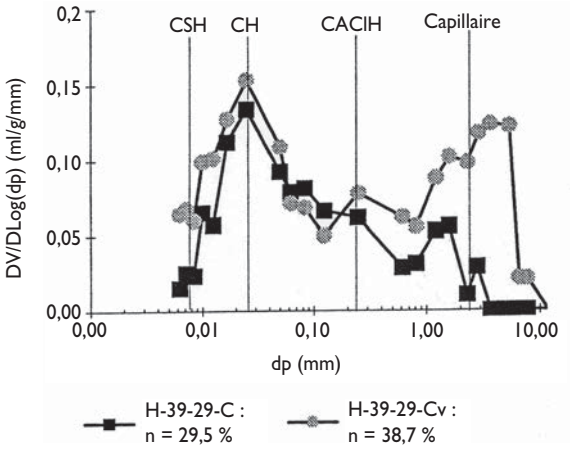


Figure 3 : Modes porosimétriques des matrices

dans la solution interstitielle rend leur présence improbable (Capmas 1994). À long terme, après épuisement des chlorures et minéralisation des SH, leur formation devient théoriquement de nouveau possible. Ces formations tardives sont nuisibles dans le cas où leur mode porosimétrique (principal diamètre intrinsèque des pores de la formation) serait supérieur au principal mode de la matrice déjà formée. Ceci est le cas pour les CA*Cl*H dans les matrices CH (voir figure 3), ce qui entraîne de faibles gonflements à très long terme.

Porosité des matrices

En ce qui concerne la porosité intrinsèque des matrices, l'étude porosimétrique au mercure (voir figure 3) a révélé que celle-ci était trimodale et correspondait probablement à l'emboîtement des systèmes minéraux CSH-CH-CA*Cl*H. Cette porosité possède un volume poreux maximum pour le système CH, ce qui est en rapport avec les dosages importants en chaux. Le système CSH est peu présent ce qui vient des faibles dosages en ajouts. Une macroporosité capillaire est présente dans le cas où la matrice ne s'effondrerait pas sur elle-même suite aux pressions de succion qu'entraîne l'auto-dessiccation. Dans le cas de l'ajout CV, ce mode porosimétrique semble provenir principalement de la désagrégation des sphérules de verre au sein de la matrice. Cette macroporosité capillaire est, par conséquent, bien plus faible dans le cas de la matrice chaux-ciment.

Pour les composites vase-chaux-CV, et par rapport au composite avec ajout de ciment, il a par ailleurs été constaté un léger décalage et un élargissement des modes porosimétriques attribués aux structures CH et CA*Cl*H. Ces variations, avec la porosité totale un peu plus élevée des composites CV, sont liées à l'auto-dessiccation initialement moins importante du milieu au moment du compactage. Les valeurs de porosité totale, pour un même dosage en chaux, se classent normalement dans l'ordre des dosages en ajout mais le dosage en chaux reste déterminant pour cette valeur qui est contrôlée par la baisse de la teneur en eau du matériau.

Mode d'immobilisation et lixiviation des métaux

L'importance de la porosité des matériaux va avoir une influence sur la lixiviation des polluants solubles dans la solution interstitielle par l'intermédiaire de la perméabilité. Dans le cas où la fixation chimique minérale des polluants serait peu efficace, comme cela est probablement le cas à court et moyen terme pour les métaux lourds restés complexés avec les SH, les composites vase-chaux-CV se révéleront moins efficaces que les composites avec ajout de ciment du fait de leur porosité plus importante avec un mode capillaire également plus élevé.

Des essais de lixiviation font apparaître que pour le cuivre et le nickel, métaux sensibles à la solubilisation des complexes en milieu basique (Calmano *et al.* 1983), cette tendance semble vérifiée. En effet, à dosages semblables, la lixiviation sur éprouvette monolithique des composites CV est toujours légèrement plus importante que pour le ciment. De plus, nous constatons que l'immobilisation physique de ces métaux est peu efficace dans la mesure où la lixiviation sur monolithe est assez proche de la lixiviation sur agrégats.

Le plomb et le zinc sont par contre mieux immobilisés physiquement, comme la différence des deux modes de lixiviation le laisse penser (voir figure 4). Ces métaux semblent de plus insensibles aux différences de porosité des matrices. Ces deux éléments sont, *a priori*, immobilisés par les phases aluminates (CAClH), qui sont particulièrement aptes aux substitutions avec Pb et Zn (Capmas *et al.* 1994). Néanmoins, on constate que la fixation chimique avec l'ajout ciment est meilleure.

Enfin, il a été établi que la lixiviation des chlorures était bien corrélée avec la porosité totale des composites (Rey 1999), ce qui suggère que la lixiviation des espèces solubles soit

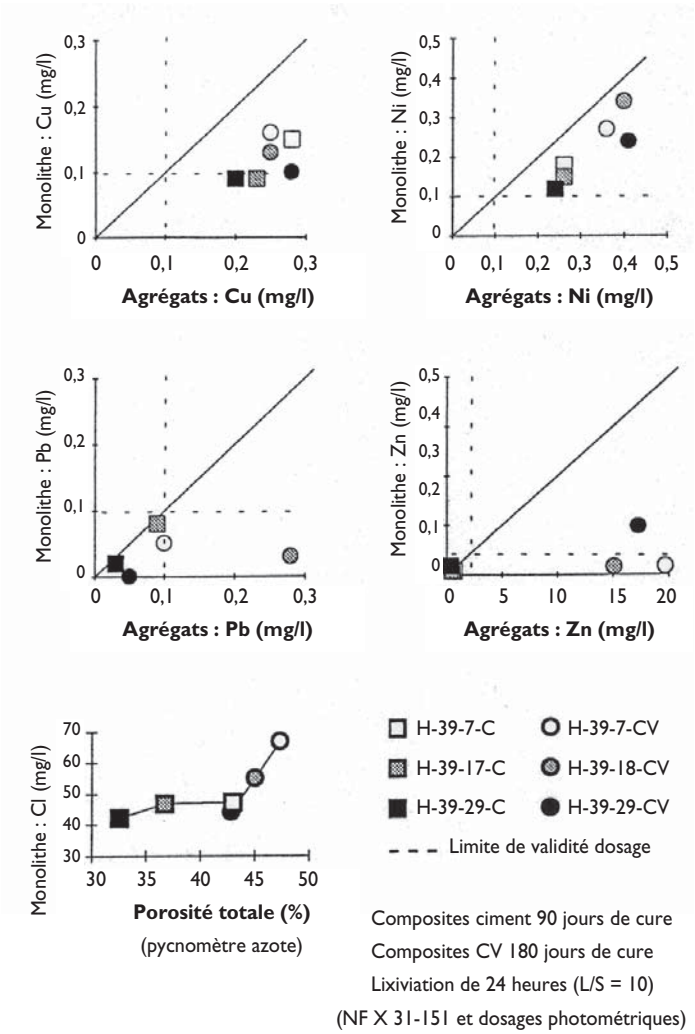


Figure 4 : Résultats des lixiviations des composites et corrélation Porosité - Chlorures lixiviés

effectivement contrôlée par celle-ci et que l'importance de la porosité capillaire (« macroporosité ») a peu d'influence sur ce phénomène.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nous conclurons en précisant que le traitement des vases de dragage portuaires par solidification/stabilisation à base de chaux pour constituer des composites cimentiers ou/et pouzzolaniques susceptibles de répondre à une utilisation dans le domaine du génie civil se heurte à certains facteurs comportementaux et économiques. Cependant, en tenant compte de la synthèse des conclusions phénoménologiques de cette étude, certaines possibilités s'ouvrent pour améliorer ces critères :

– d'une part l'étude d'un prétraitement des vases pour minimiser l'influence des matières organiques sur le procédé de S/S (processus d'oxydation accéléré) ;

– d'autre part l'utilisation d'un liant spécifique adapté à la double problématique forte teneur en eau - matériau organique (liant pouzzolanique sulfo-alumino-calcique).

*** Daniel Levacher, Francis Rey,**
Upres A 6143 Morphodynamique continentale et côtière - Groupe de recherche en génie civil - Université de Caen - 24, rue des Tilleuls - 14000 Caen

**** Jean-Louis Quénec'h, Francis Rey,**
École supérieure d'ingénieurs des travaux de la construction de Caen - 1, rue Pierre et Marie Curie - 14610 Epron

Bibliographie

• Alzieu C., 1999. *Dragage et environnement marin - État des connaissances.* Ed. IFREMER, 224 p.

• Boutouil M., 1998. *Traitement des vases de dragage par solidification/stabilisation à base de ciment et additifs.* Thèse de Doctorat, Le Havre, 258 p.

• Busnot I., 1991. *Les substances humiques : complexants naturels.* Thèse de Doctorat, Caen, 202 p.

• Calmano W., Förstneru, Kersten M., Kraus D., 1983. *Behavior of dredged mud after stabilisation with different additives.* Sci. Total Environ., pp 737-747.

• Capmas A. et Sorrentino F., 1994. *Étude des mécanismes de solidification-stabilisation des déchets solides par liants hydrauliques - cas des Refiom. Environnement et Technique,* n° 136, pp. 50-53.

• Geode, 1994. *Dragage dans les ports français.* Rapport de synthèse Sogreah, 113 p.

• Jolicoeur C. et Simard M.-A., 1998. *Chemical admixture-cement interactions : phenomenology and physico-chemical concepts.* Cement and Con. Comp., n° 20, pp. 87-101.

• Kamon M. et Nontananandh S., 1990. *Contribution of stainless steel slag to the development of strength for seabed hedoro.* Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Eng., Vol. 30, n° 4, pp. 63-72.

• Kujala K. et Mäkikyrö M., 1996. *Effect of humus on the binding reaction in stabilized soils.* Grouting and Deep Mixing, Ed. Yonekura Terashi et Shibazaki, Rotterdam, pp. 415-420.

• Le Roux A., 1969. *Contribution à l'étude du traitement à la chaux des matériaux argileux.* Thèse de Doctorat, Paris, Orsay, 105 p.

• Rey F., Levacher D., Bennabi A., Quenec'h J-L., 1998. *Étude du comportement mécanique et des conditions de mise en œuvre de composites vase-chaux.* 16èmes Rencontres universitaires de génie civil, Reims, pp 122-129.

• Rey F., 1999. *Étude physico-mécanique et environnementale du composite vase-chaux et additifs.* Thèse de Doctorat, Caen, 271 p.

• Stegemann J.A. et Cote P.L., 1991. *Programme conjoint d'étude de méthodes d'essais pour l'évaluation des déchets solidifiés.* Environ. Canada SPE3/HA/8, 131p.

Déchets Design

Les ambassadeurs du futur

Gérard Bertolini



Rapprocher déchet et design peut paraître singulier. Pourtant, le déchet intervient comme mécanisme de rappel; au-delà, il interpelle les designers, et plus largement les créateurs. De plus en plus, ils devront avoir une démarche prospective, anticipatrice, préventive, remettre en cause la conception des produits pour mieux tenir compte de l'après-usage et des préoccupations environnementales, qui constituent des valeurs d'avenir.

Et puis, une fois n'est pas assez. Réemploi, réutilisation, recyclage, boucles et cascades, les produits doivent devenir des re-produits, les créateurs des re-créateurs.

Enfin, le produit doit être efficace dans sa mission, ainsi que dans sa démission. Pour les déchets ultimes (à réduire autant que possible), leur concours peut là encore être précieux.

Pour libérer l'avenir, le design doit investir le champ du déchet nous dit Gérard Bertolini, économiste, directeur de recherche au CNRS et spéculateur sur l'avenir des déchets.

Format 15,5*24 - 204 pages - 179 F TTC franco de port
(169,67 F HT - TVA 5,5 % : 9,33 F)

Société Alpine de Publications
7, chemin de Gordes - 38100 Grenoble
Tél. : 04 76 43 28 64 - Fax : 04 76 56 94 09

A LA RECHERCHE DU VÊTEMENT ÉCOLOGIQUE

Gérard Bertolini,
économiste, directeur de recherche au CNRS,
Pierre Melquiot,
Docteur ingénieur en génie industriel et environnement, responsable de projets au Cetih (Centre technique des industries de l'habillement),



Informer et éclairer le consommateur ainsi que les industriels concernés ; sensibiliser à l'écologique ; verdir les productions et les achats (promouvoir à la fois l'offre et la demande), faire de l'écologie un argument de vente…

Format 16*21 - 164 pages - 1999 - 180 F TTC
franco de port (170,62 F HT - TVA 5,5 % : 9,38 F)



Société Alpine de Publications (SAP)
7, chemin de Gordes - 38100 Grenoble
Tél. : 04 76 43 28 64 - Fax : 04 76 56 94 09