



HAL
open science

Formulation et comportement d'un béton allégé à base de sédiments marins

Agnes Zambon, Nadia Saiyouri, Zoubir Medhi Sbartai

► **To cite this version:**

Agnes Zambon, Nadia Saiyouri, Zoubir Medhi Sbartai. Formulation et comportement d'un béton allégé à base de sédiments marins. Rencontres Universitaires de Génie Civil, May 2015, Bayonne, France. hal-01167680

HAL Id: hal-01167680

<https://hal.science/hal-01167680>

Submitted on 24 Jun 2015

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.

Formulation et comportement d'un béton allégé à base de sédiments marins

Zambon A.¹, Saiyouri N.¹, Sbartai Z.M.¹, Duplaine H.²

¹ Institut de Mécanique et d'Ingénierie Département Génie Civil et Environnemental - UMR CNRS 5295 (I2M GCE)

² Entreprise Balineau

RÉSUMÉ. La valorisation des sédiments marins issus du dragage maritime est un enjeu environnemental et économique sur lequel l'entreprise de travaux maritimes Balineau a décidé de miser. Le projet consiste à développer un béton innovant qui permettrait de réutiliser ces sédiments marins en tant que matière première. Ce béton aurait la particularité d'être fabriqué à partir d'une mousse ce qui lui conférerait une structure poreuse et une faible densité. Bien que des travaux aient déjà été réalisés sur le sujet, la maîtrise de la formulation et de la mise en œuvre d'un tel béton est aujourd'hui encore mal établie. Cette étape est pourtant un point clé pour le développement d'un nouveau produit et pour son utilisation dans de nouvelles applications. Ce papier présente les résultats d'essai visant à comprendre les facteurs jouant un rôle dans le processus de fabrication et de mise en œuvre d'un tel béton.

ABSTRACT. The valuation of marine dredged sediments is an environmental and economic stake on which the company of maritime works Balineau has decided to bet. The project consists of developing an innovative concrete which would permit to reuse these marine sediments as raw material. This concrete would have the particularity to be made from a foam what would get a porous structure and a low density. Although works have been already realized on the subject, the control of the design mixture and the implementation of such a concrete is not nowadays still well established. This stage is nevertheless a key point for the development of a new product and for its use in new applications. This paper presents the results of tests which aim to know factors influencing the process of manufacturing and implementation of such a concrete.

MOTS-CLÉS : Bétons légers, mousse, sédiments marins dragués, recyclage

KEY WORDS: Lightweight concrete, foam, dredged marine sediments, recycling

1. Introduction

Aujourd'hui près de 45 millions de tonnes de sédiments marins sont dragués par an en France. La gestion de ces sédiments dépend de leurs qualités. L'immersion en mer est régie par l'arrêté ministériel du 09 aout 2006 et l'arrêté du 23 décembre 2009. Les sédiments non immergeables sont considérés comme des déchets. Leur gestion est régie par l'article L541. La mise en dépôt à terre est une solution coûteuse de par le besoin d'une certaine surface de stockage et des frais de transport. De plus les substances présentes dans les sédiments peuvent être considérées comme des polluants dans ce nouvel environnement. L'idée de valoriser ces sédiments entant que matière première pour la formulation de nouveaux matériaux représente donc un véritable enjeu environnemental et économique. De nombreuses études sur le sujet ont déjà permis d'aboutir à l'application de béton incorporant des sédiments marins. Parmi ces bétons, un béton innovant incorporant une mousse lors de sa fabrication pour lui conférer une structure poreuse a été le sujet de quelques études. Cependant la maîtrise de la formulation et de la mise en œuvre d'un tel béton est aujourd'hui encore mal établie et nécessite d'autres recherches.

Ces études ont été principalement menées au Japon, en Thaïlande et en Corée du Sud. Comme par exemple ;

- l'étude des caractéristiques physiques du béton (comportement mécanique, densité) en fonction de la quantité des constituants (eau, mousse, ciment, rapport sédiments/sables) [HOR 14] [LEE 13], de la variabilité des argiles [HOR 14], de la fluidité du mélange à l'état frais [KAT 13], de la pression de pompage [KAW 08], du temps de malaxage [KAW 08], de la pression de l'eau qui entoure le béton lors de son durcissement [YOO 13], du type de mousse [OTA 02]
- la mise en place de paramètres de formulation intermédiaires pour maîtriser le procédé de fabrication [HOR 14]
- l'étude du mode de rupture en fonction des quantités des constituants [YOO 13] [LEE 13]

Le béton de mousse à base de sédiments marins a été appliqué dans plus de 30 projets ce qui représente plus de 300 000 m³ de béton. Il a été utilisé entre autre pour construire le revêtement du tunnel de Yume-Shima qui relie l'île de Yume-Shima et Saki Shima dans la baie d'Osaka. La mise en œuvre correspond à couler le béton dans l'eau. L'utilisation du béton allégé permet de réduire la charge appliquée sur le tunnel. Le béton est fabriqué et mise en œuvre de manière continue grâce au vaisseau RyuJin. Sa capacité de production est deux fois plus

importante que pour un processus de fabrication à terre avec une cadence de $360\text{m}^3/\text{h}$. Le volume de béton produit pour ce projet est de $68\,000\text{m}^3$.

Cependant la maîtrise de la formulation et de la mise en œuvre du béton mousse à base de sédiments marins reste aujourd'hui encore mal établie et nécessite d'autres recherches. C'est dans ce contexte que Balineau, une entreprise de travaux maritime, a choisi de développer un béton de mousse à base de sédiments marins. En effet Balineau, qui effectue des travaux de dragage dans le bassin d'Arcachon, voudrait être capable de réutiliser ces sédiments marins en tant que matière première dans la formulation d'un produit qu'elle utiliserait sur un chantier en parallèle tel que par exemple le remplissage de deux palplanches d'un quai portuaire (figure 1). En effet l'utilisation d'un tel béton permettrait de diminuer la quantité des constituants utilisés et de diminuer le poids d'appuis exercé sur le rideau de palplanche. De plus, la logistique de fabrication du béton serait optimisée en supprimant l'étape d'acheminement des granulats. Le but est de mettre en place un processus de fabrication du béton à partir des sédiments marins dragués sur le lieu du chantier.

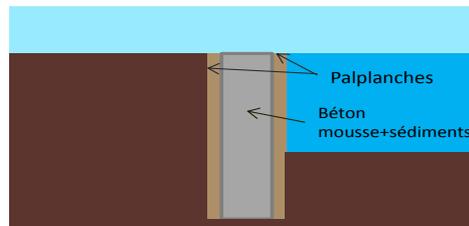


Figure 1 : Schéma de l'application du béton mousse+ sédiments marins en tant que remblais entre deux palplanches

Du fait d'être utilisé dans le cadre d'un chantier et de répondre à une application visée, le processus de fabrication et les caractéristiques du béton doivent répondre à plusieurs critères :

- Le béton est coulé dans l'eau par un moyen de pompage qui nécessite une condition sur l'ouvrabilité du béton à l'état frais.
- Couler le béton frais dans l'eau présente des risques de décohérence, d'inhomogénéité et de délavage du mélange qui imposent au béton frais des critères de consistance.
- Les sédiments doivent être utilisés directement après avoir été dragués. Ils devront donc être incorporés dans le mélange sans avoir subi de traitement au préalable.
- La densité doit être légèrement supérieure à la densité de l'eau (1.15) pour que lorsqu'on le coule, le béton se dépose au fond de l'eau entre les deux rideaux de palplanche.
- Le béton n'étant pas beaucoup sollicité, sa résistance mécanique à la compression peut être de l'ordre de 0,4MPa.
- Le rendement est un point important pour le développement de ce béton. Le coût du béton dépend des constituants utilisés et de leurs quantités. Si possible aucun adjuvant ne sera ajouté.

2. Méthodes et matériaux

Les essais mis en place pour cette étude consistent à maîtriser la fabrication et la mise en œuvre du béton allégé à base de sédiments marins tout en respectant les conditions énumérées ci-dessus. Ces essais ont été effectués dans le cadre d'un stage master recherche par A. Mancera en 2014 [MAN 14] et financés par l'entreprise Balineau.

2.1. Caractérisation des sédiments marins

Le béton de mousse fabriqué pour les essais utilise dans sa formulation des sédiments prélevés dans le bassin d'Arcachon au niveau du port. Ces sédiments ont été caractérisés au préalable en mesurant les grandeurs physiques de 5 prélèvements (E1, E2, E3, E4, E5). Les grandeurs physiques mesurées sont ;

- La masse volumique absolue ;
- La teneur en eau ;
- La valeur au bleu de méthylène ;
- Les limites d'Atterberg ;
- La granulométrie par tamisage ;

La mesure de la masse volumique absolue s'est effectuée à l'aide d'un pycnomètre. On effectue une série de quatre pesées du pycnomètre vide, avec une masse m de sédiments, rempli du mélange « eau distillée + masse m de sédiments » et rempli d'eau distillée. Les résultats présentés (tableau 1) montrent que d'un prélèvement à l'autre la masse volumique est peu différente.

| Prélèvements | D | W% |
|--------------|------|--------|
| E1 | 2,19 | 230,34 |
| E2 | 2,05 | 236,63 |
| E3 | 2,04 | 245,14 |
| E4 | 2,07 | 234,52 |
| E5 | 2,17 | 215,01 |

Tableau 1 : Masse volumique et la teneur en eau des 5 prélèvements de sédiments marins

La teneur en eau est désignée par la notation w et est exprimée en %. Les résultats (tableau 1) présentent des valeurs relativement élevées avec une faible variabilité entre prélèvements mise à part pour le prélèvement 5 qui indique une teneur en eau inférieure aux autres prélèvements.

L'argilosité des sédiments est mesurée par deux paramètres ; l'indice de plasticité et la valeur au bleu de méthylène. Ces deux essais permettent de classer les sols.

La valeur VBS, mesurée avec la norme NFP 94-068, est exprimée en grammes de colorant par kilogramme de sédiments. La classification des sols se fait selon la figure 2. Les résultats présentés tableau 2 montrent que la valeur au bleu de méthylène est une caractéristique qui varie peu d'un prélèvement à l'autre puisque 4 des 5 prélèvements sont classés dans la même catégorie.

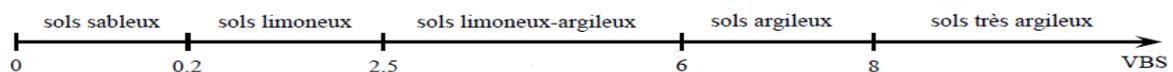


Figure 2 : Classification des sédiments en fonction de la valeur VBS

| Prélèvement | VBS | |
|-------------|-------|------------------------|
| E1 | 0,999 | Sols limoneux |
| E2 | 1,488 | Sols limoneux |
| E3 | 0,994 | Sols limoneux |
| E4 | 1,486 | Sols limoneux |
| E5 | 3,465 | Sols limoneux-argileux |

Tableau 2 : Valeur au bleu de méthylène

Le tableau 3 présente les limites d'Atterberg. Les valeurs des indices de plasticité sont élevées. On peut en déduire une compressibilité de nos sédiments relativement importante. L'indice de plasticité d'un prélèvement à l'autre est légèrement différent. Cependant en reportant les valeurs d'indice de plasticité et de la limite de liquidité sur le diagramme de Casagrande (figure 3), on peut classer tous les prélèvements dans la même catégorie : « limons très plastiques ».

| | W_L | W_P | I_p |
|----|-------|-------|-------|
| E1 | 239.3 | 85.2 | 154.1 |
| E2 | 233.3 | 70.6 | 162.7 |
| E3 | 242.6 | 50.6 | 192 |
| E4 | 236.5 | 66.5 | 170 |

Tableau 3 : Limites d'Atterberg

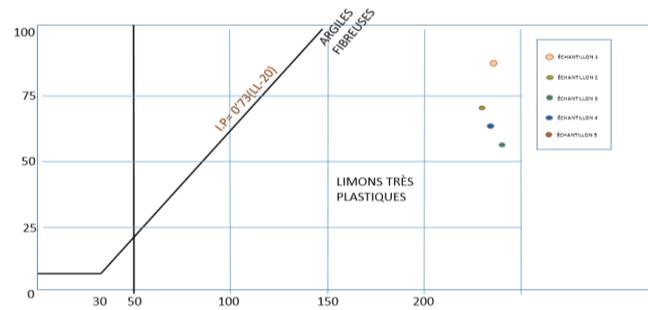


Figure 3 : Diagramme de Casagrande

L'analyse granulométrique des 5 prélèvements s'est effectuée par tamisage à l'aide d'une colonne de sept tamis d'ouverture 5mm, 2mm, 1mm, 0,4mm, 0,2mm, 0,1mm, 0,08mm. Les courbes granulométriques présentées figure 4 indiquent une granulométrie très fine et homogène pour l'ensemble des prélèvements.

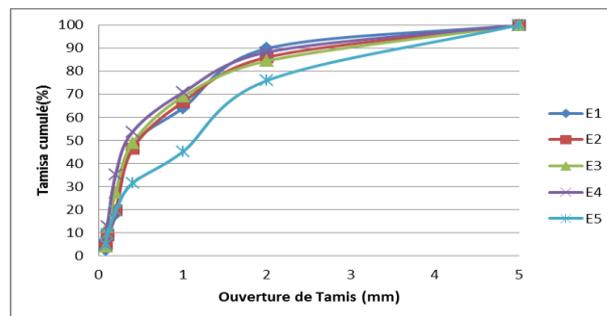


Figure 4 : Courbes granulométriques des 5 prélèvements de sédiments marins

La caractérisation de ces 5 prélèvements a permis d'observer une légère variabilité dont l'impact au niveau des propriétés finales du béton reste à vérifier.

2.2. Essais

Les essais effectués dans le cadre de ce projet ont consisté à fabriquer des éprouvettes avec des formulations différentes et de mesurer certaines de leurs caractéristiques physiques (à différents états du béton) afin d'étudier l'influence de la formulation sur les caractéristiques finales du béton. Les propriétés physiques mesurées sont ;

- la résistance mécanique à la compression à 7jours, 14jours, 28jours et 90jours. Elle a été mesurée sur une presse électromécanique de capacité de charge de 50kN.
- la densité à 7jours, 14jours, 28jours et 90jours. Elle a été calculée à partir de la mesure de la masse et des dimensions de l'échantillon qui permettent de calculer son volume.
- l'étalement du béton frais afin d'évaluer l'influence de la formulation sur l'ouvrabilité du matériau à l'état frais. L'étalement est mesuré par un essai appelé *Flow-table test* qui suit la norme ISO 9812. Il consiste à placer le béton frais au centre d'un plateau à l'aide d'un moule. Le plateau est composé de deux plaques articulées par une charnière le long d'un bord. La plaque supérieure est soulevée de 4cm puis est lâchée. Cette action est répétée 15 fois. Le béton s'étale sous l'action de son poids et forme une galette à peu près circulaire dont les diamètres dans deux directions perpendiculaires sont relevés.

Les éprouvettes confectionnées sont cylindriques avec un diamètre de 4cm et une hauteur de 10cm. Le type de moule utilisé est en plastique et hermétique (figure 5). Ces moules ont été remplis en introduisant le béton frais à l'intérieur sans que la gravité ne soit un paramètre à prendre en compte tel que c'est le cas lors d'un versement avec une certaine hauteur. Cependant les moules ont été parfois tapotés afin d'assurer le remplissage total du volume. Les moules ont ensuite été fermés et stockés à l'air ambiant à une température de 20°C et une humidité de 60%.

Figure 5 : photographie moule en plastiques utilisé pour la confection des éprouvettes



La mousse utilisée est de type « protéine animale ». Le processus de fabrication nécessite de former la mousse en amont de la confection du béton. La mousse est ensuite incorporée au béton frais pendant l'étape de malaxage. Les sédiments ont été stockés dans des sacs étanches pendant 5jours avant d'être utilisés pour la fabrication du béton. Dans de telles conditions de stockage, l'état des sédiments est proche de l'état saturé en eau qui est l'état

représentatif des sédiments qui viennent d'être dragués comme cela est envisagé pour les conditions d'utilisation du béton fabriqué. Cet état est celui pour lequel la quantité d'eau à ajouter est définie. Par la suite, les sédiments seront stockés dans des bacs d'eau salée afin d'avoir un état encore plus représentatif des sédiments dragués.

Les paramètres de formulation qui varient sont ;

- le type de ciment (CEMI-52,5 N, CEMIII/C 32,5 N SR, et CEMV/A (S-V) 42,5 N)
- le pourcentage de ciment (massique par rapport au poids totale de 1m^3 de béton : 12%, 18%, 24%, 30% et 36%)
- la présence ou non de chaux à 4% en pourcentage massique (par rapport au poids total de 1m^3 de béton). La chaux utilisée est notée NHL3,5 selon l'appellation normalisée NF EN 459-1 (Natural Hydraulic lime). Cette chaux est de type hydraulique. Elle est utilisée dans le but de stabiliser les sédiments et de renforcer le rôle du ciment.

Les formulations ont été mises en place selon la méthode suivante :

- Fixer le pourcentage massique de ciment (par rapport au poids de 1m^3 de béton) ;
- Calculer le pourcentage massique d'eau à partir du rapport eau/liant (=0,5) et du pourcentage massique de ciment. Le liant représente le mélange « ciment+chaux ». Dans le cas des formulations sans chaux, le pourcentage de liant correspond donc au pourcentage de ciment.
- Calculer le pourcentage de sédiments marins par rapport à la masse restante en considérant que la masse de la mousse est négligeable devant celle des sédiments ;
- Calculer le pourcentage de mousse par rapport au volume restant pour obtenir la densité visée ($d=1,15$). Dans la pratique la quantité de mousse est modifiée par rapport à la densité visée. En premier lieu la quantité de mousse théorique est incorporée. Le béton frais placé dans un moule dont les dimensions et le poids sont connu et ensuite pesé. Si par rapport à cette mesure, la densité est supérieure à 1.15, une certaine quantité de mousse doit à nouveau être incorporé au mélange. La démarche est renouvelée jusqu'à ce que la densité visée soit atteinte.

Le pourcentage massique (par rapport au poids total de 1m^3 de béton) des différents constituants pour les 22 formulations testées sont présentées dans le tableau 4. Les quantités de mousse théoriques et expérimentales ont été renseignées en pourcentage volumique. La valeur d'étalement a été également indiquée. Certaines cellules sont vides par faute d'avoir noté les informations lors des essais.

| Formulation | Ciment | | Chaux(NHL) | E/C | Eau | Sédiments | M_{th} | M_{exp} | Etalement (cm) |
|-------------|-------------|----|------------|-----|-----|-----------|----------|-----------|----------------|
| 1 | CEMI-52,5 | 12 | 0 | 0,5 | 6 | 82 | 10 | | 28,5 |
| 5 | CEMI-52,5 | 12 | 4 | 0,5 | 6 | 78 | 11,4 | 340 | 47,5 |
| 6 | CEMI-52,5 | 18 | 0 | 0,5 | 9 | 73 | 12,8 | 160 | 49 |
| 7 | CEMI-52,5 | 18 | 4 | 0,5 | 9 | 79 | 14,2 | 360 | 48 |
| 8 | CEMI-52,5 | 24 | 0 | 0,5 | 12 | 64 | 15,7 | 140 | 47,7 |
| 4 | CEMI-52,5 | 30 | 0 | 0,5 | 15 | 55 | 18,5 | 115 | 49,5 |
| 3 | CEMI-52,5 | 36 | 0 | 0,5 | 18 | 46 | 21,4 | 400 | 44 |
| 9 | CEMIII-32,5 | 12 | 0 | 0,5 | 6 | 82 | 10 | 124 | 43,5 |
| 10 | CEMIII-32,5 | 12 | 4 | 0,5 | 6 | 78 | 11,4 | 520 | 49,5 |
| 11 | CEMIII-32,5 | 18 | 0 | 0,5 | 9 | 73 | 12,8 | 140 | 48,7 |
| 12 | CEMIII-32,5 | 18 | 4 | 0,5 | 9 | 69 | 14,2 | 400 | 52 |
| 13 | CEMIII-32,5 | 24 | 0 | 0,5 | 12 | 64 | 15,7 | 180 | 47,5 |
| 14 | CEMIII-32,5 | 30 | 0 | 0,5 | 15 | 55 | 18,5 | 200 | 52,5 |
| 15 | CEMIII-32,5 | 36 | 0 | 0,5 | 18 | 46 | 21,4 | 120 | 59,5 |
| 17 | CEMV-42,5 | 12 | 0 | 0,5 | 6 | 82 | 10 | | |
| 18 | CEMV-42,5 | 12 | 4 | 0,5 | 6 | 78 | 11,4 | 454,4 | 50,7 |
| 16 | CEMV-42,5 | 18 | 0 | 0,5 | 9 | 73 | 12,8 | 120 | 43 |
| 22 | CEMV-42,5 | 18 | 4 | 0,5 | 9 | 69 | 14,2 | | |
| 21 | CEMV-42,5 | 24 | 0 | 0,5 | 12 | 64 | 15,7 | 200 | 44,5 |
| 20 | CEMV-42,5 | 30 | 0 | 0,5 | 15 | 55 | 18,5 | 132,8 | 31 |
| 19 | CEMV-42,5 | 36 | 0 | 0,5 | 18 | 46 | 21,4 | 148 | 33,5 |

Tableau 4: Pourcentage massique des 22 formulations testées

Le pourcentage volumique de mousse ajouté expérimentalement est dispersé et peut être difficilement relié au type de ciment, à la présence de chaux ou non ainsi qu'au pourcentage de liant. Il sera primordiale pour la suite de l'étude de comprendre quels sont les facteurs qui influencent le phénomène de « cassage de mousse ».

3. Résultats et discussions

3.1. Ouvrabilité

L'ouvrabilité est mesurée par l'essai d'étalement sur table. Les résultats présentés sur la figure 6 sont difficiles à interpréter au niveau de l'influence du pourcentage de liant. L'étalement est à relier à la quantité d'eau ajoutée au mélange. Cette quantité d'eau est impactée par le phénomène de modification de la mousse décrit ci-dessus qui est encore mal contrôlé. Au niveau du type de ciment, l'étalement semble de manière générale plus important pour le ciment CEMIII que pour les ciments CEMI et CEMV. Ce ciment apporterait donc une meilleure maniabilité du béton frais.

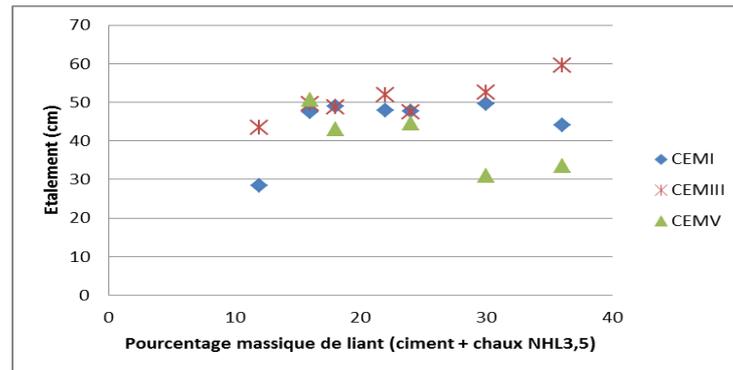


Figure 6 : Courbes de l'étalement en fonction du pourcentage massique de liant (ciment + chaux NHL3,5) pour les 3 types de ciment

3.2. Résistance mécanique à la compression et densité

La figure 7 présente les graphiques de l'évolution de la densité et de la résistance en fonction du temps de durcissement pour les différentes formulations.

Au niveau de la résistance mécanique à la compression les résultats montrent que ;

- La résistance mécanique à la compression augmente avec le temps de cure et l'évolution d'une formulation à l'autre est assez semblable. Cependant, le comportement est différent d'un béton ordinaire, en effet jusqu'à 28 jours le comportement est quasiment linéaire ce qui montre que la résistance du béton continue à augmenter après 28 jours.
- La résistance mécanique à la compression dépend du type de ciment. Celle-ci est plus importante avec le ciment CEMIII. Cependant quel que soit la formulation les pourcentages de ciment testés permettent d'obtenir des résistances mécaniques supérieures à celle visée.
- La résistance mécanique à la compression dépend de la présence de la chaux. A pourcentage de ciment identique, le béton comprenant de la chaux présente une résistance mécanique à la compression nettement supérieure.
- La résistance mécanique du béton fabriqué à partir du CEM I 52,5 est inférieure au béton qui utilise du CEM III 32,5. Pourtant la cinétique des réactions d'hydratation du ciment CEM III 32,5 qui contient 80% de laitiers est beaucoup plus lente que celle du ciment CEM I 52,5. Ce constat peut s'expliquer ;
 - en prenant en compte le rôle que joue la granulométrie des laitiers sur la résistance mécanique.
 - en prenant en compte l'eau en excès dans le béton. Elle serait différente dans les deux bétons car les mécanismes d'hydratation sont beaucoup plus lents pour le béton qui utilise du ciment CEMIII 32,5. L'eau nécessaire à l'avancée des réactions a le temps de circuler dans le béton et d'alimenter les mécanismes alors que le béton qui utilise du ciment CEMI 52,5 piège l'eau qui devient alors des pores dont la géométrie diminue la résistance mécanique du béton.
 - l'état de surface des échantillons a pu fausser les résultats de nos essais mécaniques. Ce constat devra donc être reconfirmé par d'autres essais complémentaires.

Au niveau des densités, les résultats montrent que la densité dépend peu du type de ciment, du temps de cure, du pourcentage de ciment et de la présence de chaux. Pour toutes les formulations testées, les densités obtenues correspondent à la valeur visée. Ces paramètres de formulation pourront donc être fixés indépendamment de la densité.

Par rapport à l'ensemble de ces résultats que ce soit au niveau de la densité ou de la résistance mécanique à la compression, nous pouvons avancer que ;

- le choix du type de ciment peut donc se faire en fonction de son prix dans le but de rentabiliser la fabrication du béton.
- La quantité de ciment peut être fixée en dessous de 12%. L'une des premières démarches pour la suite de l'étude sera de reproduire ces essais avec des pourcentages de ciments inférieurs à 12% afin de déterminer le pourcentage de ciment minimum permettant d'obtenir une résistance mécanique à la compression satisfaisante à l'application visée.

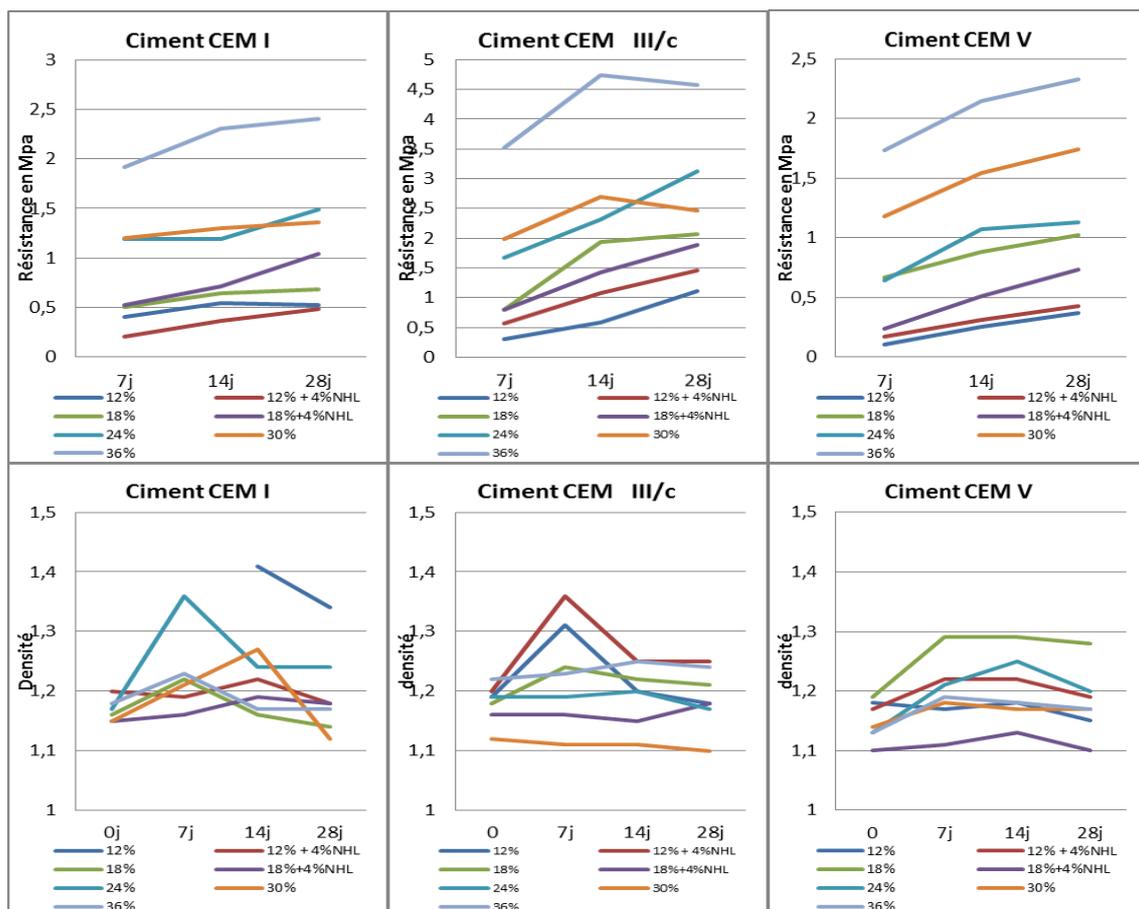


Figure 7 : Graphiques représentant l'évolution de la résistance mécanique en compression et de la densité en fonction du temps de durcissement

Lors des essais il a été observé que la quantité de mousse incorporée au mélange lors de la fabrication du béton est largement supérieure à celle calculée théoriquement. Une partie de la mousse est cassée lors de son introduction. Cette observation soulève un véritable problème pour la maîtrise de la procédure de fabrication du béton allégé à base de sédiments marins. En effet, cela modifie la quantité réelle d'eau apportée. Les caractéristiques du béton frais telles que son ouvrabilité, son homogénéité et sa cohésion lors de sa mise en œuvre dans l'eau peuvent ainsi être impactées. Pour maîtriser la fabrication de ce béton il est donc nécessaire de pallier à ce problème et de connaître les paramètres qui l'influencent tels que :

- les conditions de malaxage (temps, vitesse, type de malaxage).
- le phénomène d'absorption de l'eau de la mousse par le ciment. En effet le ciment réagit avec l'eau selon des réactions d'hydratation complexes. Ce phénomène d'« absorption » dépend de l'avancée des réactions d'hydratation et donc du temps qu'il y a entre le mélange de l'eau et du ciment et l'incorporation de la mousse.
- la pression de pompage lors de la mise en œuvre
- la pression de l'eau qui entoure le béton pendant le durcissement
- la présence de certaines substances organiques dans les sédiments marins.

Conclusion

Cet article présente l'étude du développement du béton mousse à base de sédiments marins issus de dragage. Les caractéristiques de différents prélèvements de sédiments marins ont été étudiées mettant ainsi en évidence une variabilité très légère au niveau de l'ensemble des caractéristiques physiques. Cependant ces observations soulèvent la question de l'impact de ces variabilités sur les résultats du béton fabriqué à partir de différents prélèvements. Des essais mesurant la densité et la résistance mécanique à la compression à différents temps de cure ainsi que l'étalement du béton frais pour différentes formulations faisant varier le type de ciment, le pourcentage massique du ciment et la présence ou non de chaux, ont été menés. Les résultats ont mis en évidence :

- le phénomène de modification de la mousse qui a lieu lors de son incorporation. Ce phénomène doit être évité pour permettre le contrôle de la quantité de mousse à ajouter et ainsi maîtriser la formulation.
- la dépendance des caractéristiques du béton final en fonction du temps de cure et de la quantité des constituants.

Perspectives

Au vu des résultats des essais et pour optimiser le rendement, la quantité de ciment utilisée peut être encore optimisée.

Pour maîtriser le processus de fabrication il est nécessaire de palier au problème de modification de la mousse. Il sera envisagé de :

- contrôler la quantité d'eau introduite dans le mélange ;
- faire varier le temps d'incorporation de la mousse. L'idée est d'attendre que les mécanismes d'hydratation aient débutés ;
- jouer sur les paramètres de malaxage (type de malaxage, temps de malaxage et la vitesse de malaxage). Il pourra être envisagé de contrôler le temps et la vitesse de malaxage avant et après l'incorporation de la mousse.

Couler le béton frais dans l'eau présente des risques de décohérence et d'inhomogénéité du mélange qu'il sera nécessaire d'étudier. Ce comportement dépend de la quantité des constituants, des conditions de malaxage (type de malaxage, temps, vitesse), de l'avancé des mécanismes d'hydratation ainsi que du temps de mise en œuvre après sa fabrication.

La fluidité du mélange doit être suivie de près car elle doit répondre au critère fixé par le moyen de mise en œuvre.

Il sera également envisagé d'étudier l'impact de la variabilité des caractéristiques des prélèvements sur les propriétés du béton final.

Remerciement

Les travaux présentés dans cet article ont pu être réalisés grâce au financement de l'entreprise Balineau que nous remercions.

Références bibliographiques

- [YOO 13] YOON S., KIM S., JOO J., « Underwater behaviors of lightweight air foamed soils Using small scaled », *The 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering*, 2013.
- [LEE 13] LEE M., KIM T., « Mechanical strength characteristics of new lightweight soil », *Korea Marine University*, 2013.
- [KAW 08] KAWABE K., « A New Practical Solution for Effective Use of Dredged Sand - Mixture of Dredged Sand and Lightweight Materials », *18th World Dredging Congress Florida*, 2007.
- [HOR 14] HORPIBULSUK S., WIJITCHOT A., NERIMITKNORBUREE S., « Factors influencing unit weight and strength of lightweight cemented clay », *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, vol.47, 2014, p101-109.
- [OTA 02] OTANI J., MUKUNOKI T., KIKUCHI Y., « Visualization for engineering property of in-situ lightweight soils with air foams », *Soils and Foundations*, vol.42, 2002, p.93-105.
- [KAT 13] KATAOKA S., HORITA T., TANAKA M., « Effect of dredged soil on the strength development of air-foam treated lightweight soil », *Proceedings of the 18th International conference on soil mechanics and geotechnical engineering*, Paris, 2013.
- [MAN 14] MANCERA A., « Etude préliminaire pour la formulation de béton allégé à base de sédiments marins », *Université Bordeaux*, 2014.