

## EFFET DU TRAITEMENT DES SÉDIMENTS PAR UN LIANT HYDRAULIQUE SUR LEUR SENSIBILITÉ À L'EAU

### IMPACT OF HYDRAULIC BINDER ON SEDIMENT WATER SENSITIVITY

---

Réception : 15/04/2025

Acceptation : 19/05/2025

Publication : 10/06/2025

---

HOCINI Kousseila<sup>1</sup>, KHEFFACHE Toufik<sup>2</sup>, BRARA Ali<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Génie de la Construction et d'Architecture- kousseila.hocini@univ-bejaia.dz.

<sup>2</sup>Laboratoire de Génie de la Construction et d'Architecture- toufik.kheffache@univ-bejaia.dz.

<sup>3</sup>Laboratoire de Génie de la Construction et d'Architecture- [ali.brara@univ-bejaia.dz](mailto:ali.brara@univ-bejaia.dz).

**Résumé** - Les sédiments fluviaux peuvent être une alternative pour devenir des matériaux utilisables dans les domaines du génie civil et des travaux publics. La valorisation de ces matériaux pour une éventuelle utilisation dans le domaine de la construction est une solution à envisager. Avant d'utiliser ces matériaux, soit directement, soit après incorporation d'autres additifs, une connaissance de leurs propriétés est nécessaire pour comprendre leur comportement et le choix des procédés de traitement. Afin de déterminer les performances des sédiments, l'identification par la réalisation d'une campagne d'essais est indispensable. Ce travail consiste en une caractérisation de sédiments en vue d'une éventuelle utilisation comme matériaux de remblai dans le secteur routier. Les résultats d'une étude expérimentale réalisée sur le sédiment à l'état naturel et après incorporation de fractions massiques d'un liant hydraulique ont été présentés. Le matériau utilisé dans les essais est un sédiment prélevé d'Oued Soummam, dans la région de Tala Hamza à Bejaia. Une caractérisation physico-chimique, mécanique et minéralogique du matériau a été présentée. Afin d'étudier la sensibilité de ce sédiment à l'eau, un liant hydraulique a été incorporé à différents dosages puis le mélange a été soumis à des tests pour suivre l'évolution de ses caractéristiques physico-mécaniques ainsi que l'évolution des teneurs en eau optimales. Les résultats obtenus ont montré que pour l'utilisation de ce sédiment comme matériau routier, il faut un traitement afin d'améliorer ses performances. L'incorporation du liant hydraulique a montré une évolution des teneurs en eau et donc de la sensibilité à l'eau et une amélioration des caractéristiques du sédiment pour une utilisation en technique routière.

**Mots - clés** : Sédiment, Caractérisation, Minéralogie, Géotechnique, Teneur en eau.

**Abstract**-River sediments could be an alternative to become innovative materials for use in civil engineering and public works. Recycling these materials for possible use in the construction industry is a solution worth considering. Before these materials can be used, either directly or after incorporating other additives, a knowledge of their properties is needed to understand their behavior and the choice of treatment processes. In order to determine the performance of sediments, it is essential to identify them by carrying out a series of laboratory tests to determine their various characteristics, particularly their physical, chemical, mineralogical and mechanical properties. This work involves characterizing fine river sediments with a view to their possible use as fill materials in the road sector. The results of an experimental study carried out on sediment in its natural state and after incorporation of mass fractions of a hydraulic binder were presented. The material used in the tests is a sediment taken from Oued Soummam, in Tala Hamza, region of Bejaia. A physico-chemical, mechanical and mineralogical characterization of the material was presented. In order to study the sensitivity of this sediment to water, a hydraulic binder was incorporated at different dosages, then the mixture was subjected to tests to monitor changes in its physico-mechanical characteristics as well as changes in optimum water content. The results showed that if this sediment is to be used as a road material, it needs to be treated to improve its performance. The incorporation of hydraulic binder showed a change in the water content and therefore the sensitivity to water and an improvement in the characteristics of the sediment for use in road techniques.

**Keywords** : Sediment, Characterization, Mineralogy, Geotechnics, Water content.

## 1-Introduction

Le domaine des travaux publics est le secteur qui consomme le plus de granulats et épuise les sources naturelles de ces matériaux. L'extraction étendue des ressources naturelles nécessaires à la production des matériaux de construction sont sujettes aux critiques des écologistes [1]. Cela nécessite de se diriger vers d'autres alternatives comme c'est le cas de la réutilisation des sédiments issus de curage des rivières. Les sols fins issus des curages pourraient constituer une alternative en devenant une source de matériaux qui peuvent être utilisés dans le domaine routier. Parmi les différents secteurs du génie civil, le domaine routier sollicite le plus grand besoin en matériaux vu qu'il consomme une quantité importante de granulats [2,3]. Ces sédiments peuvent être utilisés directement ou après amélioration de leurs caractéristiques, ce qui fait que leur valorisation nécessite la connaissance de leurs compositions chimiques et minéralogiques. Le choix de l'ajout et des proportions à ajouter dans le cas d'un traitement se fait en fonction des résultats de la caractérisation et des objectifs visés par cette valorisation. Afin d'utiliser correctement ce matériau, une caractérisation par la réalisation de divers essais est nécessaire. Les discussions sur son employabilité en tant que matériau routier s'appuient sur les résultats de cette caractérisation qui définit ses performances physico-chimiques, mécaniques et minéralogiques. La sensibilité à l'eau des matériaux routiers est également un paramètre déterminant sur leur employabilité, d'où l'identification de la teneur en eau de chaque élément constitutif. L'ajout de petites quantités d'eau modifie de manière significative le comportement des matériaux granulaires en raison de la formation de ponts capillaires, révélant une forte sensibilité des sédiments à l'humidité [4]. Pour une utilisation directe des sédiments comme matériaux routiers ou pour opter pour la définition d'un procédé de traitement afin d'améliorer leurs performances par l'intégration de liants hydrauliques, une étude préalable des performances du matériau à l'état naturel est indispensable. Dans ce travail une caractérisation du sédiment d'Oued Soummam a été réalisée. Les résultats de la caractérisation

ont montré que le sédiment en question ne peut pas être utilisé directement comme matériau routier vu ses performances jugées faibles et ne répondant pas aux exigences en termes de résistance et de durabilité. Afin d'utiliser ce matériau, une valorisation par traitement avec un liant hydraulique est proposée et le choix du liant hydraulique a été porté sur le ciment. Ce dernier a été ajouté au sédiment brut en y incorporant différentes fractions, allant de 2% à 10% de la masse totale de l'échantillon pour évaluer sa sensibilité à l'eau.

## 2- Site de prélèvement

Le sédiment utilisé dans cette étude a été prélevé à partir des rives d'Oued Soummam au niveau de la commune de Tala Hamza, qui se situe à 15 km du chef-lieu de la wilaya de Bejaia. Le lieu de prélèvement est présenté dans la figure 1.



**Figure 1 :** Localisation du site de prélèvement au niveau d'Oued Soummam, Bejaia.

**Figure 1:** Location of the sampling site at Oued Soummam, Bejaia.

### 3- Matériaux et méthodologie de travail

Vu que les gisements du sédiment sur place sont généralement des dépôts hétérogènes, le prélèvement des échantillons a été effectué sur quatre points différents tout au long de la rive de l'Oued Soummam dans la région de Tala Hamza en utilisant les outils manuels (pelle, binette). Les prélèvements ont été réalisés à des profondeurs allant de 50 centimètres à 1 mètre et cela après décapage de la matière végétale superficielle. Les échantillons prélevés sont ensuite mis dans des bacs en plastiques, transportés et conservés dans la salle de conservation du laboratoire. L'échantillonnage au laboratoire a été effectué en utilisant la technique du quartage et chaque échantillon soumis à un essai est séché préalablement à l'étuve pendant 24 heures à une température de 105 °C. Pour caractériser le sédiment et déterminer ses caractéristiques géotechniques à l'état naturel, une série d'essais en laboratoire a été réalisée. Toute démarche de valorisation nécessite au préalable une étape expérimentale qui consiste à déterminer les différentes caractéristiques des sédiments [5]

#### 3.1- Caractérisation minéralogique

La récupération et le traitement des matériaux issus de cures passent obligatoirement par l'analyse des résultats de la caractérisation. Avant toute utilisation d'un sédiment, une attention particulière doit être portée à sa minéralogie pour connaître les principaux constituants qui le composent ainsi que leurs proportions. Cette caractérisation est importante car elle permet de prévoir les réactivités des différents éléments pour anticiper l'influence de certains composants dans le processus de valorisation et appréhender le traitement à apporter.

L'analyse minéralogique est effectuée par fluorescence aux rayons X (FRX) qui est une technique d'analyse élémentaire utilisant les propriétés physiques de la matière et permet de quantifier les éléments chimiques présents dans un échantillon de sédiment. Les principales caractéristiques chimiques et minéralogiques du sédiment étudié sont reportées dans le Tableau 1.

**Tableau 1 :** Eléments chimiques présents dans le sédiment.

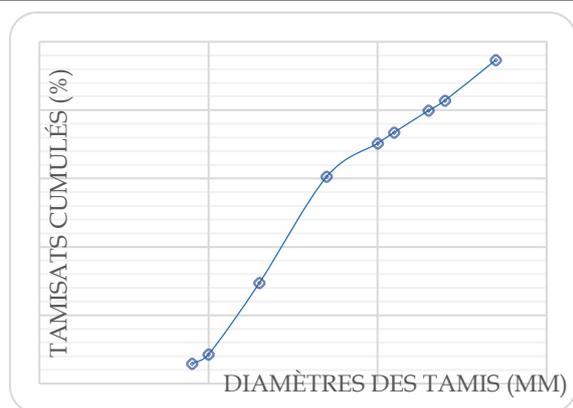
**Table 1:** Chemical elements present in the sediment.

Eléments chimiques	Pourcentage massique (%)	Eléments chimiques	Pourcentage massique (%)
El	36,61	Fe	5,31
Si	27,75	Mg	1,76
Ca	16,98	K	1,18
Al	9,63	Autres éléments	0,78

Les résultats obtenus permettent de constater une abondance d'éléments légers (El), de silicium (Si) ainsi que de calcium (Ca). Ces éléments ne sont cependant pas des particules dangereuses ni toxiques d'où la possibilité de valoriser le sédiment dans plusieurs filières de la construction. L'existence des métaux lourds et des éléments toxiques peut causer un problème environnemental incompatible avec l'emploi des sédiments dans la construction routière [6].

#### 3.2- Caractérisation physico-chimique

Pour caractériser la distribution des différentes fractions granulaires, une analyse granulométrique par tamisage à sec a été effectuée sur des échantillons de sédiment à son état brut suivant la norme NF P94-056, [7]. Les résultats obtenus ont permis de tracer la courbe traduisant le pourcentage de tamisât en fonction des diamètres des tamis représenté sur la figure 2.



**Figure 2 :** Courbe granulométrique du sédiment

**Figure 2:** Granulometric curve of the sediment.

L'analyse granulométrique a permis d'obtenir  $D_{10} = 0,11$  ;  $D_{30} = 0,2$  et  $D_{60} = 0,5$ . Le coefficient de Hazan calculé est  $C_c = 0,72$  et le coefficient de courbure  $C_u = 4,54$

Pour la caractérisation de l'argilosité et la plasticité du matériau des échantillons ont été testés en laboratoire en utilisant les deux essais : les limites d'Atterberg suivant la norme NF P94-051, [8] et le bleu de Méthylène suivant la norme NF P94-068, [9].

Les principaux paramètres mesurés suivant les trois essais cités précédemment sont récapitulés dans le tableau 2.

**Tableau 2 :** Paramètres physico-chimiques

**Table 2 :** Physico-chemical parameters

Limite de liquidité $W_L$ (%)	Limite de plasticité $W_P$ (%)	Indice de plasticité $I_P$ (%)	Indice de consistance $I_C$ (%)
34	20,5	13,5	48
Coefficient de courbure $C_c$	Coefficient d'uniformité $C_u$	VBS	
0,72	4,54	2,77	

On constate donc que le sédiment est mal gradué car le coefficient de courbure obtenu ( $C_c < 1$ ) avec une granulométrie étalée ( $C_u > 2$ ).

Les limites d'Atterberg renseignent sur la plasticité et la consistance d'un sol. Dans notre

cas, il s'agit d'une argile peu plastique ( $5 < I_P < 30$ ) avec une consistance molle ( $25 < I_C < 50$ )

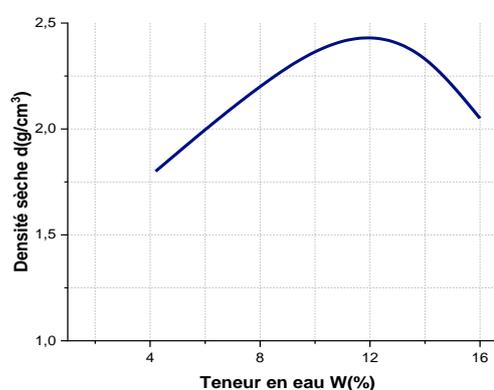
La valeur au bleu de méthylène (VBS) un paramètre permettant de caractériser l'argilosité d'un sol. Il représente la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur les surfaces externes et internes des particules du sol, [10].

Le résultat du bleu de méthylène indiqué dans le tableau précédent confirme encore une fois que le sol présente un caractère peu plastique ( $2,5 < VBS < 6$ ).

### 3.3- Caractérisation mécanique

La démarche de valorisation du sédiment sur le plan mécanique consiste d'abord à identifier ses caractéristiques à son état naturel. Parmi les caractéristiques visées et jugées comme importantes sont les propriétés optimales de compactage qui se résument dans la connaissance des teneurs en eau optimales ( $W_{OPM}$ ) et les densités sèches optimales correspondante ( $d_{OPM}$ ) en utilisant l'essai Proctor, [11]. En géotechnique routière, la réalisation d'un bon compactage est primordiale et permet de resserrer la texture du sol, d'améliorer sa portance, de réduire ses déformations et d'augmenter sa résistance, [12].

Les résultats de l'essai Proctor effectués sur le sédiment à l'état brut ont permis de tracer la courbe de la densité sèche en fonction de la teneur en eau (Figure 3).



**Figure 3:** Courbe proctor du sediment

**Figure 3:** Proctor curve of the sediment

Les résultats obtenus montrent une densité sèche optimale  $d_{OPT} = 2,43 \text{ g/cm}^3$  qui correspond à une teneur en eau optimale de :  $W_{OPT} = 12 \%$ . Cela montre que ces caractéristiques sont loin d'être satisfaisantes pour un matériau utilisable dans le domaine routier.

La vérification des performances des matériaux utilisés dans le domaine des chaussées nécessite la connaissance d'un autre paramètre pour déterminer sa portance. Il s'agit de l'Indice Portant Immédiat (IPI) car sa connaissance permet de s'assurer immédiatement après compactage que le sol présente une portance suffisante pour permettre la circulation des engins de chantier.

L'estimation de l'aptitude du matériau étudié à supporter les charges dues à la circulation des engins est effectuée à travers la réalisation des essais de poinçonnement CBR et en déterminant l'indice portant immédiat (IPI) selon la norme NF P 94 – 078, [13].

Après compactage du sédiment à l'optimum Proctor, l'Indice Portant Immédiat est mesuré. La valeur obtenue est  $IPI = 14,47$  qui est jugé comme faible par rapport aux recommandations de la norme française (NF P 98-115) qui définit des valeurs limites de l'IPI entre 25 % et 35% [14].



**Figure 4** : Matériels de l'Essai Proctor et CBR

**Figure 4:** Materials of Proctor and CBR test

#### 4- Valorisation des sédiments en technique routière

Les résultats des essais effectués ont montré que le sédiment à son état brut ne présente pas des performances satisfaisantes pour son utilisation directe dans le domaine routier. Afin de pouvoir utiliser le sédiment en question, il est nécessaire d'améliorer ses différentes caractéristiques. Pour atteindre ces objectifs, un traitement par l'incorporation de fractions massiques d'un liant hydraulique a été opté pour assurer la stabilisation et améliorer les performances physico-chimiques et mécaniques.

Dans cette étude, le choix du liant hydraulique a été porté sur le ciment. Celui-ci a été ajouté au sédiment brut à différents dosages, allant de 2% à 10% avec un pas de 2%. Le sédiment a été soumis encore une fois aux essais. Dans le but d'évaluer l'évolution de sa sensibilité à l'eau à travers la mesure des différentes teneurs en eau obtenues après l'incorporation de chacune des fractions massiques du liant, la mesure des nouvelles limites d'Atterberget l'évolution, les caractéristiques de compactage en effectuant des essais Proctor correspondant à chaque ajout ont été effectués.

Les résultats obtenus après ajout des différents dosages en liant hydraulique sont résumés dans le tableau 3.

**Tableau 3** : Paramètres physico-mécaniques sous différents dosages en ciment

**Table 3:** Physico-mechanical parameters with different cement content

Dosage en ciment (%)	0	2	4	6	8	10
WL	34	35,5	37,1	39,5	41,67	43,5
Wp	20,5	22,4	24,05	27	29,7	31,75
Ip	13,5	13,1	13,05	12,5	11,97	11,75
$d_{opt}$	2,43	2,29	2,11	2,01	1,93	1,79
Wopm	12	12,95	13,29	13,4	13,69	13,94

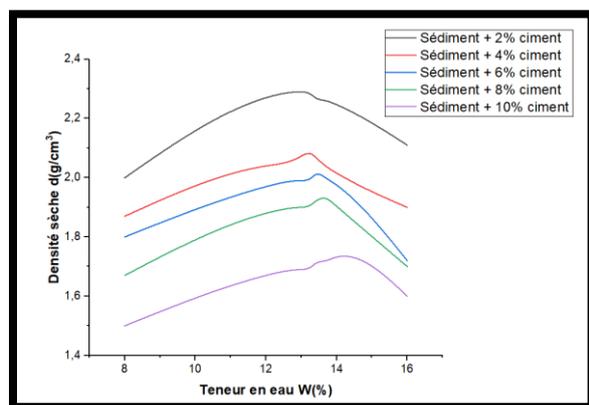
On remarque une augmentation des limites de liquidité ( $W_L$ ) et de la limite de plasticité ( $W_P$ ) suite à l'ajout de fractions de ciment. Cette augmentation continue avec l'augmentation du pourcentage du liant hydraulique incorporé. Par

conséquent, une diminution de l'indice de plasticité ( $I_p$ ) avec l'augmentation du pourcentage du ciment incorporé a été constaté, témoignant ainsi de la diminution de la sensibilité à l'eau du matériau traité.

Cette évolution des limites de liquidités avec les pourcentages d'ajout peut être expliquée par la réactivité du liant hydraulique avec les différents constituants du sédiment traité. Ceci donne naissance à de nouveaux constituants et une nouvelle texture qui peut augmenter la capacité du sol à retenir l'eau temporairement et d'accroître sa plasticité. La cristallisation et la réactivité du ciment peut conduire à la formation de grumeaux ce qui peut rendre le sol plus rigide nécessitant plus d'eau pour atteindre l'état plastique ce qui justifie l'augmentation de la limite de plasticité ( $W_p$ ).

En résumé, l'ajout de ciment peut rendre le sol plus stable et moins plastique ce qui se traduit par une augmentation des limites de liquidité ( $W_L$ ) et plasticité ( $W_p$ ) mais une diminution de l'indice de plasticité ( $I_p$ ).

Pour ce qui est des paramètres Proctor, on constate une augmentation de la teneur en eau optimale ( $W_{OPM}$ ) et une diminution de la densité sèche optimale ( $d_{OPM}$ ) du sédiment traité au ciment à différents dosages, comme le montre la figure 5.



**Figure 5 :** Courbes Proctor du sédiment traité à différents dosages en ciment

**Figure 5 :** Proctor curve of the treated sediment with different cement dosages

L'incorporation du ciment au sédiment provoque la formation de pores et de vides diminuant ainsi la densité sèche nécessitant parallèlement plus d'eau pour atteindre l'optimum.

## 5- Conclusion

Le dragage des rivières est un défi environnemental et économique majeur et la gestion des grandes masses de sédiments dragués devient une préoccupation croissante, [15].

La décision sur l'employabilité des sédiments dans le domaine routier dépend des performances de ces derniers et des exigences de résistance et de durabilité. Toute valorisation de sédiment implique la détermination de ses caractéristiques physico-chimiques, mécaniques et minéralogiques. Les résultats des essais réalisés sur le sédiment étudié ont montré que sur le plan minéralogique qu'il est riche en éléments légers, silicium et calcium et l'absence de substances dangereuses. La classification de ce sol à partir des résultats de la caractérisation géotechnique a permis de conclure que ce sédiment est un sol bien gradué avec une granulométrie étalée. L'ensemble des paramètres déterminés indiquent qu'il présente des caractéristiques qui permettent de le classer comme une argile légèrement plastique à consistance molle. Les résultats de cette caractérisation ont montré que le sédiment en question ne peut pas être utilisé directement comme matériau routier compte tenu de ses performances jugées faibles et ne répondant pas aux exigences en termes de résistance et de durabilité.

L'incorporation de fractions de ciment dans le sédiment a permis d'observer, d'une part une augmentation des limites de liquidité et de plasticité avec une diminution de l'indice de plasticité et, d'autre part une augmentation de la teneur en eau optimale et une diminution de la densité sèche du matériau en fonction des différents pourcentages de ciment incorporés. Ce qui prouve la sensibilité à l'eau du matériau.

## Références bibliographiques

[1] **Martar, P., Rouba A, 2012-** Caractéristiques du béton à base de granulats recyclés : étude expérimentale. Annales du bâtiment et des travaux publics, p33.

[2] **Ben Aissa, A., (2017).** Valorisation de la vase pour l'utilisation dans la technique routière. Thèse de doctorat, 2017, université de Sidi Belabes, p21.

[3] **Loudini, A. et al., (2020).** Valorisation of dredged marine sediments for use as road material. Short communication. Case studies in construction materials, 2020.

[4] **Richefeu V. et al., (2006) -** Shear strength properties of wet granular materials, Physical Revue E.

[5] **Ben Abdelghani F. et al., (2014) -** Caractérisation géotechnique des sédiments de dragage marins en vue de leur valorisation en techniques routières. Environnement, Ingénierie et Développement, p5

[6] **Miraoui, M., (2010).** Prétraitement et traitement des sédiments de dragage en vue d'une valorisation en génie civil. Thèse de doctorat, 2010, université Lille 1, p46.

[7] **NF P 94 – 056.** Mars 1996. Sols : reconnaissance et essais - Analyse granulométrique - méthode de tamisage à sec.

[8] **NF P 94 – 051.** Mars 1993. Sols : reconnaissance et essais - Détermination des limites d'Atterberg, limite de liquidité à la coupelle – limite de plasticité au rouleau.

[9] **NF P 94 – 068.** Octobre 1998. Sols : reconnaissance et essais - Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux – détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tâche.

[10] **GTR (2000).** Guide technique, Réalisation des remblais et des couches de forme – Fascicule I – Principes généraux, Juillet 2000, 2<sup>ème</sup> édition.

[11] **NF P 94 – 093.** Octobre 1999, Sols : reconnaissance et essais – détermination des

références de compactage d'un matériau – Essai Proctor normal – Essai Proctor modifié.

[12] **Banoune B., 2016.** Comportement mécanique et durabilité des matériaux routiers à différents dosages en sédiments fins. Thèse en cotutelle, p71.

[13] **NF P 94 – 078.** Mai 1997, Sols : reconnaissance et essais – Indice CBR après immersion – Indice CBR immédiat – Indice Portant Immédiat, Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR.

[14] **NF P 98-115. Mai 2009.** Assises de chaussées. Exécution des corps de chaussées, constituants, composition des mélanges et formulation – exécution et contrôle. Afnor.

[15] **Banoune B., et al., (2020).** Valorisation des sédiments de dragage en technique routière, 16<sup>ème</sup> journées nationales Génie côtier-Génie civil, le Havre.