

### **III.1. Introduction :**

Les matériaux autocompactants sont apparus dans les années 90 afin de palier aux difficultés de compactage rencontrées avec les matériaux traditionnellement employés pour le remblayage de tranchées. Comme leur dénomination l'indique, leur particularité est que leur mise en œuvre ne nécessite pas de compactage ni de vibration, ce qui simplifie grandement leur utilisation tout en assurant une portance suffisante à cours terme. Généralement formulés à partir d'un matériau fin, par exemple des cendres volantes, ils contiennent une faible proportion de ciment et une quantité d'eau suffisante pour assurer leur pompabilité et un enrobage uniforme des canalisations.

Dans le cadre de la valorisation des sédiments de barrage de Bouhanifia dans le domaine routier, nous avons précisé dans la 1<sup>ère</sup> partie qu'un des intérêts de ce secteur d'activité était la diversité des matériaux qui y sont utilisés. Nous souhaitons d'utiliser les sédiments de barrage de Bouhanifia comme matériau autocompactant. Dans cette 3<sup>e</sup> et dernière partie, nous allons donc développer une étude expérimentale, concernant l'utilisation des sédiments en tant que matériau autocompactant.

Mais tout d'abord, nous allons présenter l'origine de ce matériau ainsi que ses principales caractéristiques.

### **III.2. Qu'est ce qu'un matériau de remblai autocompactant ?**

#### **III.2.1. Origines :**

Les tranchées réalisées avec des matériaux « classiques » présentent encore, en proportion importante, des défaillances de comportement liées essentiellement à une insuffisance de compactage lors de leur remblayage [CIMBETON, 2005]. Cela est dû à une application insuffisante, soit par impossibilité, soit par négligence, des règles de l'art décrites dans la norme NF P 98-331.

Par exemple, en milieu urbain, du fait de la multiplication des interventions sur les nombreux réseaux et des contraintes liées à la circulation des véhicules et des piétons, l'ouverture de tranchées est de plus en plus étroites (40 à 50 cm de largeur) ce qui pose des difficultés pour



**Photo (III.1) : Ouverture de tranchée de faible largeur en milieu urbain assurant un compactage de qualité**

Les matériaux autocompactants apportent une solution à ce problème car ils se mettent en place naturellement dans les tranchées, par simple déversement (Figure 2). En outre, ils assurent en quelques heures une portance suffisamment élevée pour permettre une remise en circulation rapide et présentent à long terme de bonnes performances mécaniques.



**Photo (III.2) : Remplissage de tranchée avec un remblai autocompactant par simple déversement**

Il n'existe à l'heure actuelle aucune norme concernant les produits autocompactants. Aussi, les prescriptions techniques, les formulations, les conditions de mise en œuvre diffèrent d'une entreprise à l'autre et s'appuient principalement sur l'expérience acquise sur différents chantiers. Un dossier a cependant été rédigé par le Centre Technique sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (CERTU) qui regroupe l'essentiel des pratiques françaises et qui fait office de référence dans ce domaine [CERTU, 1998].

C'est à partir de ce document que nous allons maintenant décrire comment sont formulés les matériaux autocompactants ainsi que les différents types de produits utilisés à ce jour.

#### **III.2.2. Principales caractéristiques :**

##### **III.2.2.1. Formulation :**

Un matériau autocompactant est formulé à partir de 3 ou 4 composants : un sable ou plus souvent un matériau fin, un liant hydraulique, généralement du ciment, de l'eau et éventuellement un adjuvant (super plastifiant.).

a. Dosage en liant :

**Tableau III.1 : Critère de résistance mécanique en compression à 28 jours**

| R <sub>c</sub> à 28 jours (MPa) | < 0,7 MPa | 0,7 à 2 MPa              | > 2 MPa      |
|---------------------------------|-----------|--------------------------|--------------|
| Réexcavabilité                  | Facile    | Moyennement Facile       | Difficile    |
|                                 | Manuelle  | Manuelle ou mécanisation | Mécanisation |

Le liant est dosé afin que les matériaux atteignent à long terme des performances mécaniques suffisantes pour assurer leur fonction. Cependant, la résistance est volontairement limitée pour permettre en cas de nécessité, un ré excavation facile du matériau. Concrètement, on cherche à obtenir des résistances en compression comprises entre 0,7 et 2 MPa à 28 jours (Tableau 1).

Pour obtenir ces performances, les dosages en liant sont généralement de l'ordre de 1 à 4 % (calculés par rapport à la matière sèche totale), soit environ 25 à 100 kg par mètre cube de matériau confectionné.

### **III.2.2.1.a. Dosage en eau :**

Dans le cas d'une formulation sans adjuvant, seule l'eau permet d'ajuster la consistance des produits autocompactants. La quantité d'eau nécessaire à introduire dans le mélange doit donc être suffisante pour assurer la pompabilité du matériau, l'enrobage correct des canalisations ainsi que le remplissage des aspérités de la tranchée. La fluidité est mesurée par affaissement et/ou étalement au cône d'Abrams. Le critère utilisé est l'obtention d'un affaissement au cône de 15 cm.

### **III.2.2.1.b. Traficabilité :**

Le délai de restitution piétonne peut être évalué grâce au boulet de Kelly. Cet essai consiste à mesurer l'enfoncement d'une bille d'acier lâchée d'une hauteur précise sur le matériau autocompactants. La tranchée est dite « traficable » si la valeur obtenue est inférieure à 2,5 cm. Cependant, on a utilisé un autre critère, basé sur la détermination de l'Indice Portant (essai de poinçonnement) à 24 h de maturation. La portance est jugée satisfaisante si la valeur obtenue est  $> 10$ .

### **III.2.3. Les différents produits connus :**

On distingue actuellement 2 types de matériaux autocompactants :

#### **III.2.3.1. Les produits essorables :**

qui utilisent le principe des remblais hydrauliques : leur capacité portante est obtenue essentiellement par l'évacuation d'une forte partie de l'eau dans l'encaissant ;

#### **III.2.3.2. Les produits non essorables :**

qui durcissent uniquement grâce à la prise du liant. Généralement, ils contiennent un ou plusieurs adjuvants spécifiques qui permettent de diminuer leur teneur en eau initiale.

Le choix du type de produit nécessite donc l'identification préalable des matériaux encaissants de la tranchée. Les matériaux essorables ne sont pas utilisables dans des roches massives non fissurées, dans des argiles ou des limons et sables argileux, sauf si un dispositif d'évacuation de l'eau est mis en place.

### III.2.4. Fabrication, transport et mise en œuvre :

Les matériaux autocompactants sont fabriqués dans des centrales de béton prêt à l'emploi ainsi que par quelques entreprises de travaux publics. Les centrales assurent le dosage et le malaxage des constituants, à l'aide de malaxeur continu ou discontinu. Les teneurs en liant étant faibles, le matériel de pesée doit être suffisamment précis pour respecter la formulation retenue.

Leur transport s'effectue en camion malaxeur car pour certains produits, les adjuvants doivent être introduits à l'arrivée sur le chantier. D'autre part, les matériaux essorables doivent être malaxés énergiquement (3 à 5 minutes à grande vitesse) avant leur mise en œuvre, afin d'assurer une bonne homogénéité du mélange.

La mise en œuvre des matériaux autocompactants nécessite très peu de main d'œuvre. En effet, en plus du chauffeur, il faut seulement une personne supplémentaire pour guider la goulotte de déversement dans la tranchée (Figure 3). Eventuellement, une 3<sup>e</sup> personne peut être nécessaire pour homogénéiser la surface du remblai.



**Photo (III.3) : Fabrication, transport et mise en œuvre**

Le matériau est directement versé de la goulotte du camion malaxeur dans la tranchée au fur et à mesure de la progression du véhicule. Il convient de limiter au maximum la hauteur de chute afin d'éviter la ségrégation et de minimiser les risques de détérioration des canalisations. On notera également que contrairement à un matériau de remblayage conventionnel, il est nécessaire d'arrimer solidement les canalisations et les filets avertisseurs afin d'éviter leur remontée par poussée hydrostatique. D'autre part, en raison de leur grande fluidité, les matériaux autocompactants ne peuvent pas être utilisés si la pente de la tranchée

### **Chapitre III: valorisation des sédiments de Bouhanifia dans le remblai autocompactant**

est supérieure à 10 %. Enfin, rappelons que la prise du liant s'interrompt si la température descend en dessous de 5°C.

Comme nous venons de le voir, les matériaux autocompactants présentent de nombreux atouts par rapport aux matériaux de remblais classiques. Cependant, leur utilisation est soumise à certaines restrictions. L'ensemble de ces caractéristiques a été rassemblé dans le Tableau 2 ci-après.

**Tableau (III.2) : Avantages et inconvénients des matériaux de remblai autocompactant**

| Avantages   | Inconvénients  |
|---|--|
| Reconstitution rapide de la chaussée définitive sans risque de tassement dû à un compactage de mauvaise qualité<br>Elimination des nuisances sonores et des gênes occasionnées par les vibrations provoquées par le compactage mécanique<br>Aucun stockage de matériau de remblai sur le site<br>Réduction du matériel de chantier<br>Gain de productivité et réduction de la main d'œuvre nécessaire<br>Sécurité accrue des ouvriers qui n'ont plus à descendre dans la tranchée<br>Possibilité de remblayage des tranchées étroites et encombrées | Emploi limité à des tranchées présentant une pente inférieure à 10 %<br><br>Arrimage des conduites et des filets avertisseurs<br><br>Respect du délai de remise en circulation<br><br>Pas de mise en œuvre si la température est inférieure à 5C |

Il ressort clairement que les avantages d'utilisation sont beaucoup plus nombreux que les inconvénients, ce qui explique l'intérêt des entreprises de travaux public pour ce type de matériau. De nombreuses études sont actuellement en cours afin d'appliquer cette technologie à d'autres utilisations. Entre autre, des recherches sont menées par le LCPC sur des Matériaux Autocompactants Essorables de Structure (MACES) destinés à la réalisation d'assises de chaussée [Herr & al., 2001]. L'objectif est le même que pour le remblayage de tranchées à savoir s'affranchir du compactage de la couche.

Nous allons maintenant présenter la campagne expérimentale que nous avons réalisée pour étudier la valorisation des STN en tant que matériau de remblai autocompactant.

#### **III.3. Etude expérimentale de la valorisation des sédiments de barrage de Bouhanifia dans les matériaux de remblai autocompactant :**

##### **III.3.1. Protocole des essais :**

La méthodologie d'étude se décompose en 3 grandes étapes : détermination de la formulation (dosages en liant, de l'adjuvant et en eau) et confection d'éprouvettes pour l'évaluation des résistances mécaniques en compression à 28 jours.

##### **III.3.1.1. Formulation :**

Le liant que nous avons utilisé est un ciment 42.5 N. Nous avons choisi de tester 5 dosages sans adjuvants et 5 avec adjuvant: 0, 1, 2, 3 et 4 % (pourcentage massique par rapport à la masse sèche totale). Etant donné que plus la quantité de liant est faible et plus le matériau présente un intérêt économique, la formulation à 0 % nous a semblé intéressante à étudier pour savoir si la réactivité naturelle des sédiments était suffisante pour les valoriser sans liant.

Pour obtenir la fluidité souhaitée, nous avons uniquement joué sur la teneur en eau, qu'il a fallu ajuster afin d'obtenir un affaissement au cône d'Abrams de 15 cm. Les gâchées ont été confectionnées dans un premier temps avec une teneur en eau de 27.61 %. Puis, pendant le malaxage, nous avons rajouté une certaine quantité d'eau supplémentaire en contrôlant au fur et à mesure la valeur de l'affaissement au cône (Figure 4). Une fois la bonne consistance obtenue, un échantillon a été placé dans une étuve à 105° afin de déterminer la teneur en eau initiale  $w_i$  des gâchées



**Photo (III.4) : Détermination de l'affaissement au cône d'Abrams a) Matériel de l'essai  
b) Mélange trop ferme : nécessité d'ajouter de l'eau c) Affaissement correct (~15 cm)**

### **III.3.2. Réalisation des éprouvettes et de l'essai de compression :**

#### **III.3.2.1. Fabrication et conservation des éprouvettes :**

Afin de mesurer la résistance en compression à 28 jours de maturation, nous avons confectionné des éprouvettes cylindriques d'élancement 2 en utilisant des moules ayant les dimensions suivantes :  $\phi = 11 \text{ cm}$  ;  $h = 22 \text{ cm}$ . Pour les 10 formulations retenues. Nous avons confectionné 3 éprouvettes par formulation et par situation, soit  $10 \times 3 = 30$  éprouvettes. Chaque série a été réalisée en une seule gâchée soit 10 gâchées au total. Immédiatement après leur fabrication, les échantillons ont été placés dans une pièce jusque le moment de l'écrasement.

#### **III.3.2.2. Essais de compression :**

Après démoulage, les éprouvettes ont été souffrées afin que leurs faces soient planes et parallèles. Pour éviter les pertes en eau par évaporation entre cette opération et les essais de compression (Figure5).



**Photo (III.5): Soufrage des éprouvettes avant l'essai de compression**

Les essais de compression ont été réalisés avec une presse hydraulique d'une capacité de 500 kN. La vitesse de déplacement du plateau inférieur a été fixée à 0,12 mm/min. Le plateau supérieur est relié au bâti par l'intermédiaire d'une liaison rotule afin de compenser d'éventuels défauts de parallélisme.



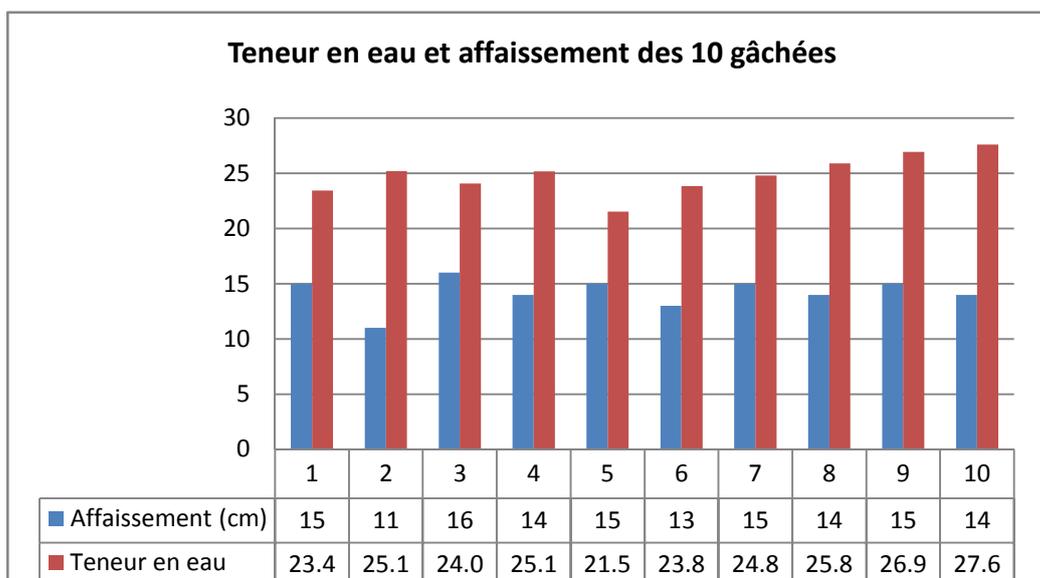
**Photo (III.6) : essais de compression**

### **III.3.3. Affaissement et teneur en eau initiale :**

Les affaissements obtenus pour les 10 gâchées et les teneurs en eau correspondantes ( $w_i$ ) ont été précisés dans le tableau 3. La précision de la balance utilisée est de 0,1 g et la masse de l'échantillon placé à l'étuve est de l'ordre de 170g.

**Tableau (III.3) : Teneur en eau et affaissement des 10 gâchées**

| Teneur en liant (%) | Type de l'éprouvette | Affaissement<br>Cm | Teneur en eau<br>% |
|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| 0                   | Avec adjuvant        | 15                 | 25.19              |
|                     | Sans Adjuvant        | 11                 | 23.44              |
| 1                   | Avec adjuvant        | 16                 | 25.18              |
|                     | Sans Adjuvant        | 14                 | 24.08              |
| 2                   | Avec adjuvant        | 15                 | 23.84              |
|                     | Sans Adjuvant        | 13                 | 21.53              |
| 3                   | Avec adjuvant        | 15                 | 25.89              |
|                     | Sans Adjuvant        | 15                 | 25.89              |
| 4                   | Avec adjuvant        | 14                 | 26.95              |
|                     | Sans Adjuvant        | 15                 | 27.61              |



**Figure (III.1) : Teneur en eau et affaissement des 10 gâchées**

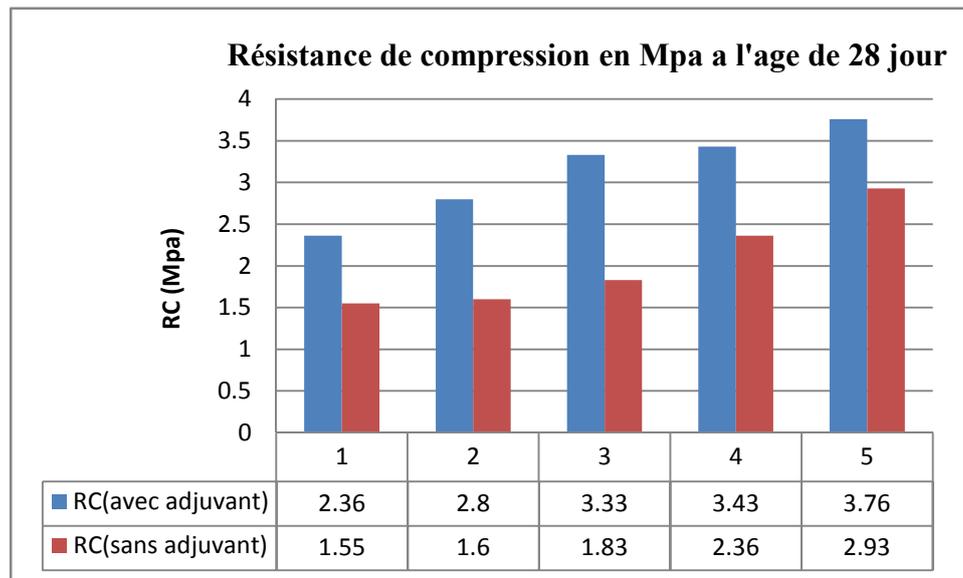
L'écart moyen des affaissements par rapport à la valeur visée (15 cm) est de 1 cm, ce qui est raisonnable. Concernant les teneurs en eau, la valeur moyenne est de 24,85 % avec une dispersion de 4,17 %. On remarquera par ailleurs que l'ajout de super plastifiant permet de réduire la teneur en eau du remblai autoplaçant et augmentant considérablement l'affaissement.

#### **III.3.4. Résistance en compression à 28 jours :**

Les valeurs moyennes des résistances en compression ont été rassemblées tableau 5 et figure 11. Sur cette dernière, nous avons précisé les valeurs minimale (1.55 MPa) et maximale (3.33 MPa) requises pour les matériaux autocompactants (cf. Tableau 5).

**Tableau (III.4) : Résistance en compression à 28 jours des éprouvettes**

| Teneur en liant (%) | Type de l'éprouvette | Résistance en compression à 28 jours<br>MPa |
|---------------------|----------------------|---|
| 0                   | Avec adjuvant        | 2.36  |
|                     | Sans Adjuvant        | 1.55  |
| 1                   | Avec adjuvant        | 2.8   |
|                     | Sans Adjuvant        | 1.6   |
| 2                   | Avec adjuvant        | 3.33  |
|                     | Sans Adjuvant        | 1.83  |
| 3                   | Avec adjuvant        | 3.43  |
|                     | Sans Adjuvant        | 2.36  |
| 4                   | Avec adjuvant        | 3.76  |
|                     | Sans Adjuvant        | 2.93  |



**Figure (III.2) : Résistance de compression en Mpa a l'âge de 28 jours**

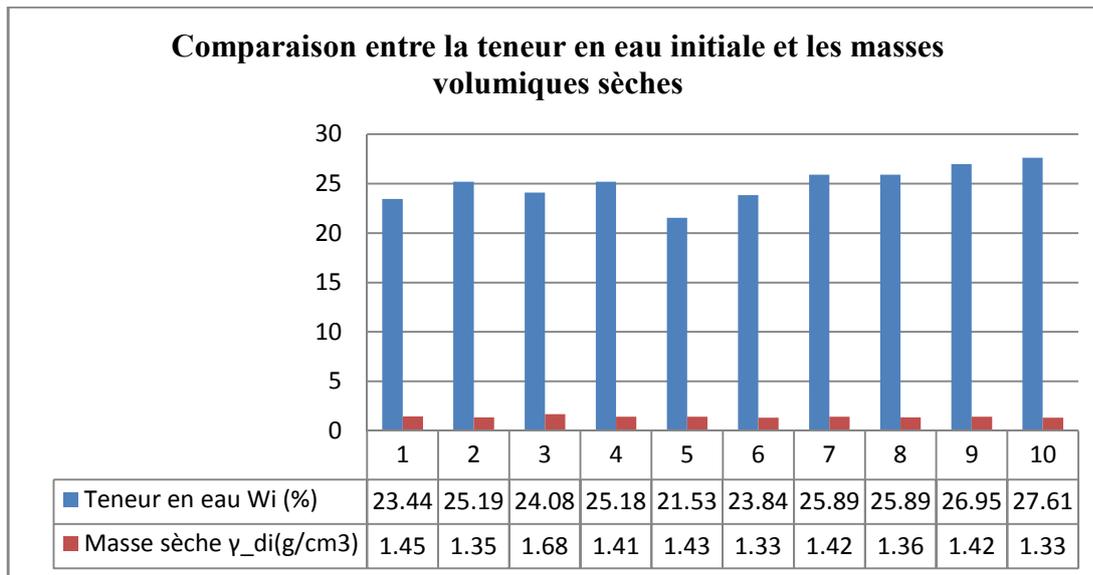
Si nous nous intéressons maintenant à l'influence du dosage en ciment, nous pouvons remarquer qu'en toute logique, les performances mécaniques augmentent avec la teneur en liant. Les résistances atteintes pour les formulations supérieures aux valeurs recommandées (entre 0,7 et 2 MPa).

Etant donné que d'un point de vue économique, plus le dosage en ciment est faible et plus le matériau est intéressant à utiliser, les résultats obtenus avec la formulation ne contenant pas de ciment sont particulièrement remarquables. En effet, d'après ces résultats, il est envisageable de valoriser les sédiments de barrage de Bouhanifia en tant que matériau de remblai autocompactant sans qu'il soit nécessaire d'utiliser de liant hydraulique, ce qui minimise son coût d'utilisation et simplifie sa mise en œuvre.

La masse volumique sèche initiale est de  $1,27 \text{ g/cm}^3$  et à 28 jours, de  $1,35 \text{ g/cm}^3$  soit une augmentation de 6,3 %. On peut remarquer qu'on a une corrélation entre la teneur en eau introduite dans les mélanges et leur densité : plus la quantité d'eau initiale est importante et plus les masses volumiques sont faibles (Tableau 4).

**Tableau (III.5) : Comparaison entre la teneur en eau initiale et les masses volumiques sèches**

| Teneur en liant (%) | Type de l'éprouvette | Wi (%) | $\gamma_{dt}(g/cm^3)$ |
|---------------------|----------------------|--------|-----------------------|
| 0                   | Avec adjuvant        | 23.44  | 1.45                  |
|                     | Sans Adjuvant        | 25,19  | 1.35                  |
| 1                   | Avec adjuvant        | 24.08  | 1.68                  |
|                     | Sans Adjuvant        | 25.18  | 1.41                  |
| 2                   | Avec adjuvant        | 21.53  | 1.43                  |
|                     | Sans Adjuvant        | 23.84  | 1.33                  |
| 3                   | Avec adjuvant        | 25.89  | 1.42                  |
|                     | Sans Adjuvant        | 25.89  | 1.36                  |
| 4                   | Avec adjuvant        | 26.95  | 1.42                  |
|                     | Sans Adjuvant        | 27.61  | 1.33                  |



**Figure (III.3) : Comparaison entre la teneur en eau initiale et les masses volumiques sèches**

Ce phénomène s'explique facilement : pour un volume donné, un mélange possédant une forte teneur en eau contient en proportion moins de matière solide. Par conséquent, sa masse volumique sèche est plus faible.

### **III.4. Conclusion :**

Face aux nombreuses difficultés rencontrées lors du compactage des remblais de tranchées, certaines entreprises routières ont développé de nouveaux matériaux dits autocompactants. Ils ont la particularité d'être suffisamment fluides pour se mettre en place par déversement et ne nécessitent aucune opération de compactage ou de vibration. Ils présentent ainsi de nombreux avantages par rapport aux matériaux classiquement utilisés pour le remblayage de tranchées.

Dans le cadre de la valorisation du sédiment de barrage de Bouhanifia dans les matériaux routiers, nous avons souhaité étudier la possibilité de leur utilisation pour ce type d'application. Notre travail a été basé sur l'étude de 10 formulations (avec et sans adjuvant), contenant respectivement 0, 1, 2, 3 et 4 % de ciment CEM II32II, les sédiments de barrage de Bouhanifia peuvent être utilisés en matériau de remblai autocompactant.

Quoi qu'il en soit, la faisabilité de la valorisation des sédiments de barrage de Bouhanifia en tant que matériau autocompactant a pu être établie et en particulier, on retiendra qu'il est possible de les utiliser sans ajout de liant hydraulique, ce qui est extrêmement intéressant d'un point de vue pratique et économique