

CAS D'UTILISATION DU TUF STABILISE AU CIMENT

Par :

Farouk CHIALI

Chargé d'Etudes et de Synthèses
au Ministère de l'Equipement.

1 INTRODUCTION

Dans le précédent numéro de "Algérie EQUIPEMENT" vous avez pu lire un article de présentation de l'aéroport d'Oran Es-Sénia ainsi que les travaux exécutés pour la reconstruction de l'aérodrome.

Nous vous présentons aujourd'hui le cas de l'utilisation du tuf-ciment pour la réalisation de la couche de base.

Rappelons que les infrastructures de l'aéroport international d'Oran Es-Sénia ont été dimensionnées pour recevoir le BOEING 747. Aussi, la couche de fondation a été réalisée en tuf concassé 0/40, la couche de base de 20 cm d'épaisseur en tuf-ciment et la couche de roulement d'épaisseur totale de 22 cm en enrobé.

2 STABILISATION DU TUF AU CIMENT

2.1 Choix des matériaux

2.1.1 Le tuf est :

- un encroustement calcaire dont les principales caractéristiques sont :

- * $\text{CaCO}_3 = 80 \pm 10 \%$
- * $\text{Ip} = 10 \pm 2,5 \%$
- * $\gamma_d \text{ (OPM)} = 2,0 \text{ t/m}^3$
- * L.A. = 50 à 60 %
- * C.B.R. (imbibé à 4 j) = 150 %
- * Granulométrie : tuf concassé 0/20 avec 25 % environ d'éléments $< 80 \mu$

- très répandu en Algérie,
- d'exploitation facile,
- un matériau qui a fait ses preuves depuis longtemps sur les routes nationales,
- extrait de carrières situées à 5 km de l'aéroport.

2.1.2 Le ciment :

Pour la stabilisation, il a été utilisé du ciment CPA 325.

2.2 Détermination du dosage en ciment

Le Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment a réalisé, pour différents dosages, une série d'essais parmi lesquels on peut citer les R_c à 7 jours et à 28 jours, l'indice CBR imbibé à 4 jours, le Proctor etc ...

Le diagramme suivant (Figure 1) représente les résistances à la compression en fonction du dosage en ciment.

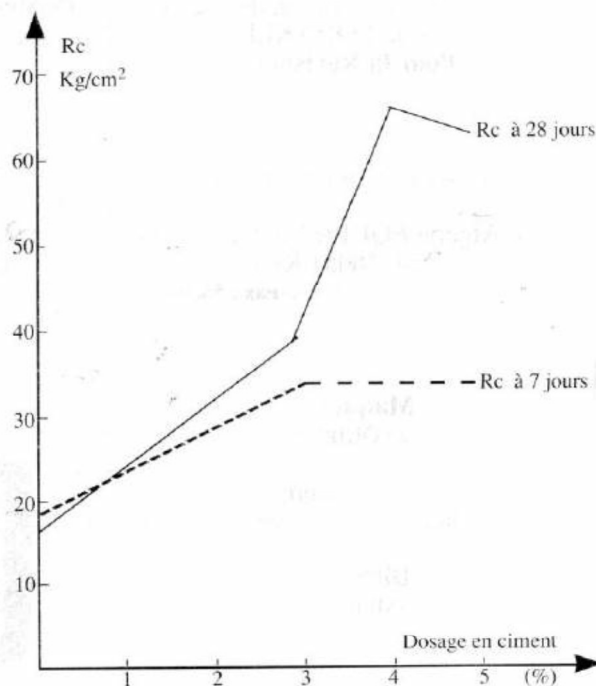


Figure 1

On constate que la Rc à 7 jours est constante pour un dosage variant de 3 à 5 % de ciment, en revanche la Rc à 28 jours présente un pic pour 4 % de ciment.

Nous ne pouvons expliquer ce phénomène vu le nombre insuffisant d'essais. Mais ce qui est important à noter c'est que la Rc à 7 jours double et celle à 28 jours triple lorsque le dosage est de 4 à 5 % ciment.

Un dosage de 4 % aurait été suffisant, toutefois, nous avons recommandé de le majorer de 1 % sur chantier pour tenir compte de l'hétérogénéité inévitable du mélange particulièrement lorsque le matériel disponible ne permet pas le mélange en centrale mais en place à la niveleuse.

2.3 Détermination du temps de maniabilité

Le dosage en ciment étant fixé, il convient donc de déterminer le temps de maniabilité c'est-à-dire le temps pendant lequel le mélange "tuf + ciment + eau" peut encore être malaxé sans perdre ses qualités.

Ce temps est déterminé comme suit :

- Mélanger à sec le tuf et le ciment jusqu'à obtenir un mélange homogène.
- Mouiller et réaliser immédiatement un proctor modifié du mélange ; on en déduit alors $\gamma_d(\text{OPM})$ et $\omega\%$ optimale.
- Prendre une quantité de matériau suffisante pour une quinzaine de moules et la peser.
- Ajouter la quantité nécessaire de ciment et malaxer à sec jusqu'à obtenir un mélange homogène.
- Mouiller le mélange à la teneur en eau optimale $\omega\%$ obtenue précédemment. Commencer alors le **chronométrage**.
- Confectionner *immédiatement après* un moule PROCTOR avec l'énergie OPM. On détermine alors γ_{d0} au temps $t = 0$.
- Tous les quarts d'heure d'abord, puis toutes les demi-heures confectionner de nouveaux moules comme précédemment. On obtient alors $\gamma_d(t)$. Cette opération sera répétée pendant 5 ou 6 heures.
- Calculer pour chaque temps t :

$$\Delta\gamma(t) = \frac{\gamma_{d0} - \gamma_d(t)}{\gamma_{d0}} \times 100\%$$

- Reporter sur un graphique $\Delta\gamma$ (en ordonnée) en fonction de t (en abscisse).
- Trouver la droite qui ajuste au mieux la série des points reportés.
- Tirer le temps t correspondant à $\Delta\gamma = 2\%$. Le temps t ainsi obtenu est le **Temps de maniabilité**.

Il est conseillé de répéter cet essai à différentes températures.

Pour notre cas, la figure 2 représente les résultats que

nous avons obtenus :

$t = 2 \text{ h } 10$ pour $T = 30^\circ\text{C}$

et

$t = 3 \text{ h } 10$ pour $T = 20^\circ\text{C}$

2.4 Répartition des sacs de ciment

Le ciment étant livré en sac, il convient de déterminer le maillage de répartition des sacs de ciment comme suit :

- épaisseur de la couche : $e = 20 \text{ cm}$
- dosage fixé : $d = 5\%$
- densité du tuf-ciment : $\gamma = 2 \text{ t/m}^3$
- poids d'un sac de ciment : $p = 50 \text{ kg}$

$$S = P/(\gamma \times d \times e) = 50/(2000 \times 0,05 \times 0,20) = 2,50 \text{ m}^2$$

Soit un maillage carré d'environ 1,6 m de côté.

2.5 Mise en oeuvre

Le dosage en ciment fixé et le temps de maniabilité déterminé, la mise en oeuvre peut alors être entamée de la façon suivante :

- ◊ répartir les sacs de ciment selon le maillage calculé ci-dessus,
- ◊ vider les sacs de leur contenu et répartir le ciment uniformément à la raclette,
- ◊ malaxer à sec à la niveleuse jusqu'à obtention d'un mélange homogène,
- ◊ mouiller, malaxer et compacter ; la durée totale de cette opération ne doit pas excéder le temps de maniabilité.

Il a été mis en oeuvre environ 50 000 m³ de tuf-ciment sur l'aérodrome d'Oran - Es-Sénia. Ce qui nous a permis de tirer certaines conclusions concernant aussi bien la mise en oeuvre que le contrôle. Nous reviendrons plus loin sur ce point. Voyons d'abord les résultats obtenus.

3 RESULTATS LABORATOIRE

- Compacités moyennes faibles $\sim 92\%$ ce qui est inférieur aux 98 % exigés par le CPS.
- Modules d'élasticité :
 $EZ = 4\,200 \text{ kg/cm}^2 > 2000 \text{ kg/cm}^2$ adopté dans les calculs.
 $ET = 2\,700 \text{ kg/cm}^2$
 $EZ/ET = 1,6 (< 2 \text{ selon critère normes allemandes})$
- CBR : impossible à réaliser - le poinçonnement ne pouvant être obtenu.
- Le prélèvement d'échantillons intacts, en vue de déterminer la résistance à la compression simple par exemple s'est avéré irréalisable.
- Rc selon le mode opératoire de FENZY :
 $Rc \text{ à } 48 \text{ heures} = 12,5 \text{ bars}$
 $Rc \text{ à } 7 \text{ jours} = 27,7 \text{ bars}$
- Observations complémentaires :
* Mélange homogène sur toute l'épaisseur de la couche.
* L'aspect visuel de la couche ne montre aucune

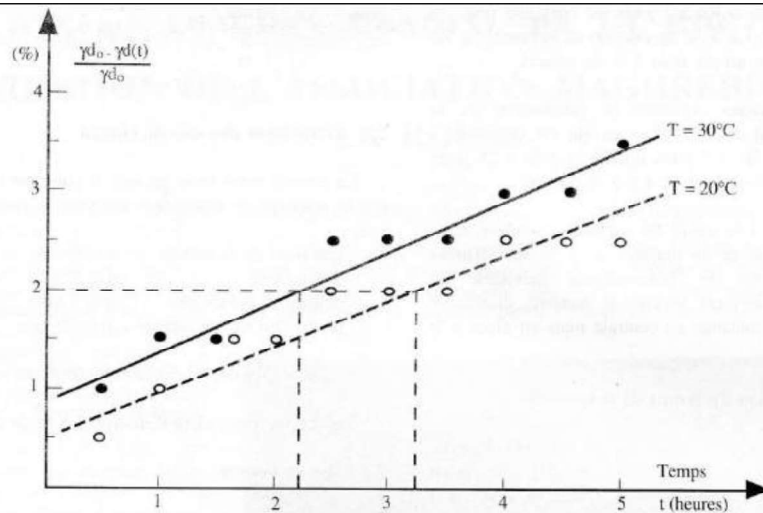


Figure 2

faiblesse malgré la présence de quelques fissures espacées de 4 à 6 m par endroit, inexistantes ailleurs, et dont la profondeur ne dépasse guère 10 cm.

- * Les camions et les dumpers chargés laissent des traces de pneus aux virages et lors du freinage mais aucune dégradation apparente de la couche de tuf-ciment n'a été observée.
- * Lors du contrôle de compacité d'une zone ayant donné des valeurs faibles (86 à 93%), les opérateurs du laboratoire ne sont pas parvenus à creuser au burin et au marteau des trous dans le tuf-ciment durci.

4 EXPLOITATION DES RESULTATS

Si, pour le contrôle et la réception de la couche de base, on ne prenait en considération que la compacité, alors on serait tenté de conclure que le tuf-ciment ne répond pas aux critères du CPS. Or les autres essais (modules - CBR - etc...) ainsi que les observations faites sur le site sont très satisfaisants.

Le mode opératoire des compacités ne peut être mis en cause car le nucléodensimètre a confirmé les résultats du densitomètre à membrane.

Les contrôles de :

- la teneur en carbonate,
- l'indice de plasticité,
- la granulométrie,
- la teneur en eau de mise en oeuvre,
- l'énergie de compactage,
- etc ...

étaient régulièrement exécutés.

Malgré toutes les dispositions prises (haute sur-

veillance, compactage énergétique) les compacités obtenues étaient inacceptables, alors que les essais de plaques donnaient des modules de 4 000 à 5 000 bars.

En ce qui concerne les Rc selon le mode opératoire de FENZY, nous estimons que les éprouvettes ayant été confectionnées au laboratoire à l'aide de matériaux prélevés sur le chantier après mélange du tuf-ciment, les valeurs des Rc ne nous indiquent que la tendance des résultats en fonction de la compacité mais ne nous donnent aucun renseignement quant à la qualité de la couche mise en place.

De ce qui précède, nous considérons que la compacité in-situ n'est peut-être pas l'essai le plus approprié et en tous cas, pas le seul critère qui doit être prescrit pour le contrôle du tuf-ciment. Aussi il nous semble qu'il est tout aussi important de fixer des critères tels que :

- 1 - les modules E2 et E1 ainsi que leur rapport,
- 2 - l'homogénéité des compacités,
- 3 - l'aspect visuel de la couche,
- 4 - le contrôle strict et sous surveillance de la mise en oeuvre.

5 RECOMMANDATIONS

Le tuf se prête bien à une stabilisation au ciment à condition de prendre les précautions suivantes lors de la mise en oeuvre :

- 1 - Le mélange tuf-ciment doit être homogène ; pour cela un malaxage en centrale serait l'idéal mais, à défaut, 4 ou 5 passes, à sec de la niveleuse sont suffisantes.
- 2 - Limiter les zones d'intervention à des planches pouvant être réalisées pendant le temps de

maniabilité.

- 3 - Ne commencer le mouillage que lorsque l'atelier de mise en oeuvre est au complet ; notamment les citernes et les compacteurs.
- 4 - Contrôler le nivellement avant la finition de la planche ; il est alors possible de rattraper les côtes projet. Plus tard, il serait difficile, voire impossible, de combler les flaches, quant aux bosses, elles peuvent être grattées à la niveleuse après humidification de la surface au besoin.
- 5 - Eviter l'utilisation d'un cylindre pour la finition, car son passage rend la surface lisse, ce qui empêche l'imprégnation de pénétrer. Si malgré tout, la surface est trop lisse, mouiller-la légèrement avant l'imprégnation.

6 CONCLUSIONS

Par sa disponibilité dans nos régions, le coût d'exploitation de ses carrières et la facilité de sa mise en oeuvre, le tuf stabilisé au ciment peut être envisagé même comme couche de base et ne présente aucun problème particulier.

Le dernier point qu'il faudrait aborder, c'est le comportement ultérieur du tuf-ciment - donc sa résistance à la fatigue et son vieillissement - mais c'est là une opération de longue haleine dont les conclusions ne peuvent être tirées que plus tard ; l'avenir nous fournira les réponses à ces questions.

Six années se sont écoulées depuis la réouverture de l'aéroport, et, à ce jour, nous n'avons constaté aucune dégradation des infrastructures ayant le tuf-ciment comme couche de base.