

Contrôle de travaux de traitement des sols

Michel KERGOËT

Ingénieur

Chef de la section Terrassements et Construction des chaussées
Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de l'Est parisien

Jean BIMBARD

Chargé d'études

Groupe Géotechnique

Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Lyon

RÉSUMÉ

Le contrôle de travaux de traitement des sols s'inscrit dans la démarche générale d'assurance de la qualité des travaux de terrassements. L'article présente, dans le cas de la réalisation d'une couche de forme, les points spécifiques et importants de cette démarche qui sont liés au traitement.

Ce sont en particulier :

- la convenance des matériels de traitement pour laquelle il est présenté un exemple concret d'évaluation de la précision de l'épandage du liant ainsi que des éléments pratiques concernant la durée de l'intervention et les moyens mobilisés ;
- la convenance des méthodes d'exécution qui insiste sur les difficultés rencontrées pour le compactage des sols fins traités en couche de forme ;
- le contrôle de l'épandage par pesée de l'épandeur et mesure de la surface correspondante couverte par le liant ;
- les épreuves d'information et notamment le carottage de la couche traitée.

MOTS CLÉS : 22 - Couche de forme - Traitement des sols - Contrôle - Qualité - Essai - Échantillon - Liant.

Le guide technique « *Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. Application à la réalisation des remblais et des couches de forme* » GTS [2] consacre une place importante à l'assurance de la qualité du traitement des sols pour emploi en remblai et pour la réalisation des couches de forme (la partie C3 y est entièrement consacrée). Plusieurs annexes détaillent des stipulations ou des méthodes de contrôle.

Le traitement des sols, et plus particulièrement celui qui concerne la réalisation des couches de forme, est, en effet, une technique pour laquelle la démarche qualité est d'autant plus nécessaire et exigeante :

- que les fonctions à court terme et à long terme d'une couche de forme sont importantes et conditionnent notablement la qualité de réalisation et de fonctionnement de la chaussée ;
- que la réalisation d'une couche de forme cumule les difficultés d'une opération de terrassement et de celles d'une couche de chaussée ;
- que le traitement d'une couche de forme est une technique délicate dont les modalités sont complexes et contraignantes tant au niveau des études que de l'exécution.

On peut représenter les principales étapes de la démarche d'assurance de la qualité dans le cas de la réalisation des couches de forme traitées sur la figure 1 qui décrit les différentes actions à réaliser suivant le phasage des travaux.

Parmi les actions importantes et spécifiques à cette partie d'ouvrage, on peut extraire quelques exemples qui illustrent bien certains aspects du contrôle propres à cette technique.

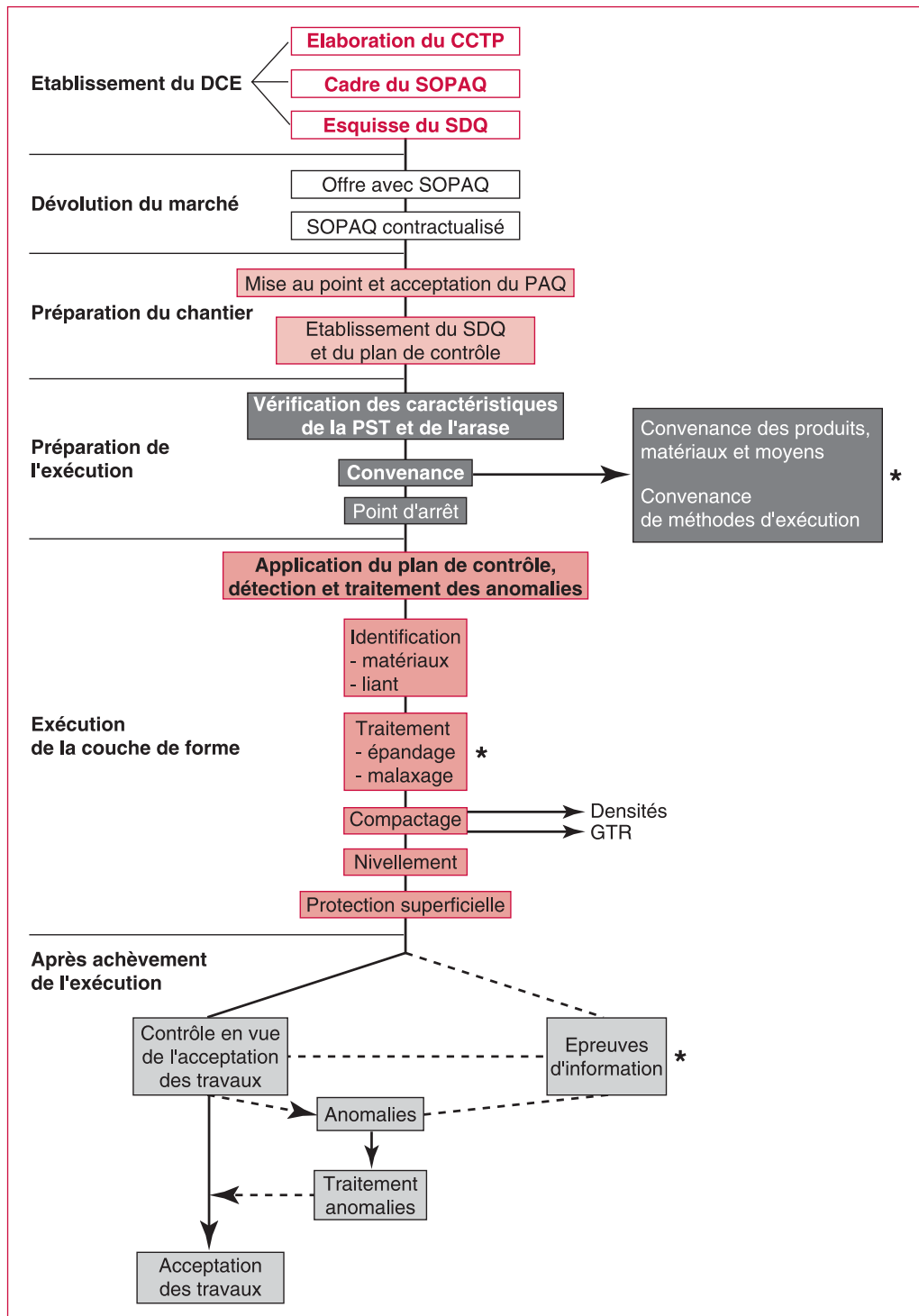


Fig. 1 - Traitement des couches de forme. Démarche qualité.

Ces illustrations repérées par une étoile (*) sur la figure 1 concernent :

- la convenance des moyens : mesure du coefficient de variation (CV) de l'épandeur et vérification de la justesse du dosage ;
- la convenance des méthodes d'exécution : vérification de la densité en fond de couche ;
- le contrôle en cours d'exécution : mesure de la masse surfacique épandue ;

➤ les épreuves d'information : carottages et essais sur carottes.

La convenance des moyens

Il s'agit toujours d'une étape importante de la phase de préparation de l'exécution d'une tâche mais elle prend, dans le cas du traitement en place

des sols, une importance particulière dans la mesure où la convenance de ces matériels spécifiques intègre fortement les interactions machine-sol ou machine-conducteur.

Il s'agit donc bien sûr de vérifier sur site la conformité du matériel aux exigences du Cahier des clauses techniques particulières (CCTP) et aux engagements de l'entreprise dans son Plan d'assurance de la qualité (PAQ), mais surtout de vérifier l'état de fonctionnement du matériel dans son contexte (sol et conducteur).

Le GTS [2] attire en effet l'attention sur la qualité de l'épandage du (des) liant(s) afin de garantir *in fine* les caractéristiques mécaniques minimales prévues.

Cette évaluation est à envisager au cours de la période de préparation de la tâche avec les moyens et selon la méthode retenus par l'entreprise : il s'agit d'une information entrant dans le cadre de l'épreuve de convenance.

Pour apprécier l'homogénéité de la répartition du liant sur le sol, il est fait appel à une méthode rudimentaire consistant à prélever des échantillons de produit, de manière aléatoire et en nombre suffisant pour être représentatifs, après l'opération d'épandage.

Ce test est réalisé après réglage de l'épandeur par l'entreprise, en visant le dosage théorique fixé.

La procédure est précisée dans l'annexe 6 du GTS [2]. Nous rappelons ci-après l'essentiel des opérations à mener.

■ Déterminer, en fonction de la masse unitaire de produit visée et de la quantité de liant correspondant à la vidange de deux cuves d'épandeur, la surface de plate-forme nécessaire. Cette dernière doit présenter une portance suffisante pour ne pas orniérer exagérément au passage de l'engin ($E_{V2} > 35$ MPa). Un nivellement sommaire des matériaux en place est fréquemment nécessaire.

■ Mise en place de bâches en toile (1 m × 1 m) réparties aléatoirement sur la zone préparée (vingt unités au minimum). Ces dernières doivent être agrafées au support pour ne pas être soulevées ou entraînées. Un dispositif simple de repérage des bâches après l'épandage doit être prévu (fig. 2).

■ Épandage du liant (une passe seulement) dans le respect de la méthode retenue, sans intervention autre que celle de l'équipe responsable de l'opération (fig. 3).

■ Pose d'un cadre métallique de 0,50 m² de surface (70,7 cm × 70,7 cm) sensiblement centré sur la bâche et récupération du liant renfermé (fig. 4).



Fig. 2 - Mise en place et repérage des bâches.



Fig. 3 - Épandage du liant.



Fig. 4 - Récupération ponctuelle du liant.

■ Pesée, sur place, du liant recueilli. La valeur lue est doublée pour obtenir la masse unitaire (kg/m^2) (fig. 5).

À partir de l'ensemble des mesures effectuées (≥ 20 unités), on calcule la moyenne des pesées (P_{moyen}) ainsi que l'écart type de la population (s). De ces valeurs, on en déduit le coefficient de variation $CV = (s / P_{\text{moyen}}) \times 100$.



Fig. 5 - Pesée sur site.

Les valeurs du coefficient de variation généralement préconisées sont les suivantes :

- > traitement pour réemploi en remblai : $CV \leq 15 \%$,
- > traitement pour réalisation de couches de forme : $CV \leq 10 \%$.

Selon le résultat obtenu, l'épandage du liant est jugé conforme (ou non conforme) aux prescriptions du marché.

Exemple d'application

Chantier

- Route nationale 82 – Déviation de Neulise (Loire).
- Couche de forme en arène traitée (quantité près de 28 000 mètres cubes).

Épreuve de convenance : évaluation de la précision de l'épandage du liant

- Liant spécial routier utilisé : LR 39 – ciments d'Origny.
- Dosage en liant visé : 6% soit $1\,920 \times 0,40 \times 0,06 = 46,1$ kilogrammes par mètre carré.
- Traitement au stock par couche de 0,40 mètre.
- Épandeur : PANIEN PR 265-18 EC.

■ Plate-forme préparée : $100 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 1\,000$ mètres carrés.

■ Résultat des pesées (cf. tableau ci-après).

| N° | Masse (kg/m ²) | N° | Masse (kg/m ²) |
|---|----------------------------|----|----------------------------|
| 1 | 40,000 | 11 | 42,000 |
| 2 | 41,000 | 12 | 42,800 |
| 3 | 53,200 | 13 | 46,800 |
| 4 | 45,400 | 14 | 44,200 |
| 5 | 44,200 | 15 | 51,000 |
| 6 | 46,800 | 16 | 54,200 |
| 7 | 43,600 | 17 | 54,000 |
| 8 | 45,400 | 18 | 42,200 |
| 9 | 45,000 | 19 | 47,400 |
| 10 | 53,200 | 20 | 45,600 |
| $\bar{X} = 46,4 \text{ kg/m}^2$; $s = 4,45 \text{ kg/m}^2$; $CV = 9,6 \%$. | | | |

Conclusions

L'engin d'épandage utilisé et la méthode d'exécution appliquée peuvent être acceptés sans modification, pour réaliser la couche de forme.

Durée de l'intervention

Dans la mesure où la plate-forme est initialement préparée (portance et nivellement admissibles), le temps de mise en place des bâches (deux personnes) avoisine 45 min (répartition, clouage et repérage). Cette opération ne mobilise pas d'engins de l'entreprise.

L'épandage du liant est rapide pour la première vidange (15 min au plus). Le réglage du débit de l'engin est supposé réalisé préalablement.

Le rechargement de la cuve peut être, lui, relativement long. Il dépend de la distance existant entre la zone de tests et le lieu de stockage mais, également, de la vitesse de transvasement du liant du silo vers l'épandeur. Si la citerne de stockage n'est pas déjà mise en pression, une attente de l'ordre de 45 min à 1 h est possible.

Après la fin de l'épandage, la récupération rationnelle et fiable du liant suivie de sa pesée, nécessite environ 1 h 30 de travail continu (deux personnes). Cette phase opératoire n'entraîne pas d'immobilisation d'engin mais, fréquemment, le malaxeur se trouve en attente, prêt à intervenir dès la dernière bâche enlevée.

Si du personnel supplémentaire est mis à disposition, le temps de pose et de ramassage des bâches peut être notablement réduit.

À partir des différentes expérimentations effectuées (une quinzaine à ce jour), nous pouvons estimer que la durée de ce test d'évaluation comprenant l'ensemble des phases (y compris le nivellement préalable qui est rarement réalisé avant l'intervention du laboratoire) immobilise l'équipe de laborantins durant environ 3 h par engin présenté.

La convenance des méthodes d'exécution

C'est une étape commune à tous types de travaux, mais elle nécessite ici une plus grande attention dans la mesure où le paramètre sol est très influent et pratiquement spécifique à chaque cas de chantier.

Parmi les points à contrôler figure le compactage.

Il s'agit souvent, en effet, de concilier une densification de la couche difficile à obtenir du fait de la cohésion du matériau et de l'épaisseur mise en œuvre (souvent 30 à 40 cm) et un bon état de surface.

Cette difficulté est réelle avec les sols fins traités qui présentent une compactabilité médiocre, du fait de leur cohésion et d'une teneur en eau optimale mal maîtrisée, et une susceptibilité au feuilletage de surface. Le contrôle réalisé lors de la convenance devra vérifier que la méthode de compactage retenue pour limiter le feuilletage permet cependant une densification suffisante. Cette vérification nécessitera, si les conditions d'emploi des compacteurs sont différentes de celles définies dans les tableaux de compactage du guide technique « *Réalisation des remblais et des couches de forme* » GTR [1], la mesure de la densité moyenne et de la densité en fond de couche.

L'exemple décrit dans l'article de Michel Kergoët [3] est une illustration de l'intérêt de la détermination de profils de densités au moyen de la double sonde pour vérifier si la méthodologie d'exécution choisie permet de respecter les critères de densification spécifiés (fig. 6).

Le contrôle en cours d'exécution

Le contrôle de la teneur en liant du mélange est l'un des paramètres essentiels.

La mesure directe de la teneur en liant dans le sol traité n'étant pas actuellement opérationnelle, le



Fig. 6 - Mesure de profil de densité à la double sonde.

contrôle porte sur la quantité de liant épandue au mètre carré, que l'on peut traduire en teneur en liant en prenant en compte l'épaisseur et la masse volumique sèche du sol à traiter.

Lorsque le volume de la couche de forme à réaliser est relativement important, une convenance est en général effectuée. Elle comporte alors la vérification des caractéristiques de fonctionnement de l'épandeur et notamment, comme nous l'avons précédemment décrit, la détermination du coefficient de variation de l'épandage.

À l'issue de la convenance, l'épandeur accepté par le maître d'œuvre présente, pour le réglage du chantier, une dispersion de dosage connue. Il n'est donc pas nécessaire en cours d'exécution, sauf si une intervention est effectuée sur le matériel, de contrôler la dispersion du dosage.

C'est pourquoi le GTS [2] préconise de contrôler, pour un cycle complet de vidange de l'épandeur, la masse surfacique épandue par pesée des essieux de l'épandeur avant et après épandage sur la surface considérée.

Cette méthode est à préférer aux mesures ponctuelles par pesées du produit recueilli sur des bâches ou bacs, qui donnent une moins bonne estimation de la moyenne épandue et dont l'appréciation de la dispersion du dosage est fortement biaisée.

La figure 7 montre un moyen opérationnel de pesée d'épandeur, utilisé au Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de l'Est parisien.

Les épreuves d'information

Avant de prononcer la conformité des travaux d'exécution d'une plate-forme en sol traité, le maître d'œuvre peut souhaiter réaliser des épreuves complémentaires dites « d'information », destinées à bien décrire la qualité de la couche de



Fig. 7 - Pesée d'épandeur au moyen de plates-formes de pesée « Captels ».

forme traitée. Ces essais d'information, qui complètent les essais de réception fixés contractuellement, sont particulièrement utiles pour localiser et détecter les anomalies.

Parmi les essais d'information, citons le carottage de la couche traitée, qui permet d'accéder à une série d'informations :

- l'épaisseur efficace du traitement ;
- la masse volumique moyenne et le gradient de densité (banc gamma) ;
- les caractéristiques mécaniques.

■ **Sur la plupart des chantiers**, les mesures de caractéristiques mécaniques effectuées sur les carottes ont pour but de juger l'homogénéité des performances de la couche de forme et de détecter d'éventuelles anomalies. Il s'agit habituellement d'une mesure de résistance à la compression diamétrale sur tout ou partie de la carotte (un sciage

des extrémités est en général nécessaire), qui ne peut pas être une exigence contractuelle dans ce contexte.

On ne peut en effet, dans la logique de la méthode de contrôle, accepter l'étude de formulation, les matériels et les méthodes d'exécution, contrôler les différents paramètres influents pendant l'exécution et remettre ensuite en cause cette acceptation des moyens par un objectif de performance mécanique sur carottes. L'illogique se double d'ailleurs de la difficulté de fixer un seuil de résistance alors que l'on ne maîtrise pas les conditions de température supportées par le matériau jusqu'à l'âge du carottage.

■ Cependant, dans **le cas des chantiers importants, autoroutiers notamment**, il est souvent possible de réaliser suffisamment en amont de l'exécution de la couche de forme un chantier d'essai ou une épreuve de convenance.

Dans ce cas, si le DCE a fixé les seuils de caractéristiques mécaniques sur carottes, le chantier d'essai ou l'épreuve de convenance permettra de vérifier sur carottes si l'objectif de performances est atteint et d'agréer alors les méthodes et moyens d'exécution.

Ce cas correspond, en particulier, au cadre type de marché 4 défini dans le GTS [2] (page 148).

Le contrôle de conformité comportera alors des carottages et essais mécaniques sur carottes, qui feront partie des essais contractuels en vue de la réception des travaux.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- | | |
|---|--|
| <p>[1] GTR, Guide technique « Réalisation des remblais et des couches de forme », LCPC-SETRA, septembre 1992.</p> <p>[2] GTS, Guide technique « Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. Application</p> | <p>à la réalisation des remblais et des couches de forme », LCPC-SETRA, janvier 2000.</p> <p>[3] KERGOËT M., Exemple d'étude de traitement pour déterminer l'emploi d'un sol en couche de forme, <i>Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées</i>, 231, mars-avril 2001, p. 19-24.</p> |
|---|--|

ABSTRACT

Monitoring soil treatment works

M. KERGOËT, J. BIMBARD

Monitoring soil treatment works is part of the general quality control procedure for earthworks. This paper outlines the important aspects of such monitoring with regard to the construction of a capping layer.

These are, in particular :

- the suitability of treatment materials for which a concrete case, the evaluation of the precision of binder spreading, is described together with practical considerations relating to the duration of works and the necessary resources ;
- the suitability of construction methods paying special attention to the difficulties associated with the compaction of fine treated soils used as a capping layer ;
- the monitoring of spreading by weighing the spreader and measuring the surface area covered by binder ;
- the conduct of tests, in particular by taking core samples of the treated layer.