

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS
SERVICES TECHNIQUES GENERAUX

1000 Bruxelles, 14.01.1985.
W.T.C. - Tour 3
Bd Em. Jacqmain 158.

Entrée 04.03.85
Dossier 12036

Aux Chefs de Service,

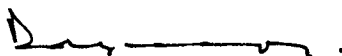
Objet : Circulaire n° 576-D/2.
Ouvrages en terre armée à parement en béton.

Les Chefs de Service trouveront, en annexe, les prescriptions relatives aux ouvrages en terre armée à parement en béton.

Les Chefs de Service veilleront à ce que, pour les entreprises comportant des constructions en terre armée, les cahiers spéciaux des charges se réfèrent à l'annexe de la présente circulaire qui annule et remplace toutes les prescriptions antérieures en la matière.

Le mètre-type joint aux prescriptions techniques est donné à titre d'information et est à adapter suivant les circonstances.

Pour le Ministre :
Le Secrétaire Général,



ir R. DE PAEPE.

Annexe à la circulaire n° 576-D/2 du 14.01.1985.

OUVRAGES EN TERRE ARMEE A PAREMENT EN BETON

1. GENERALITES
2. QUALITE DES MATERIAUX
 - 2.1. Ecailles de parement, joints, armatures
 - 2.1.1. Parements, joints
 - 2.1.2. Armatures, amorces, éclisses, goujons
 - 2.1.3. Boulons, ancrs de levage, ronds à béton
 - 2.2. Matériau de remblai
 - 2.2.1. Critères géotechniques
 - 2.2.1.1. Critère mécanique
 - 2.2.1.2. Critère de mise en oeuvre
 - 2.2.2. Critères chimiques et électrochimiques
 - 2.2.2.1. Résistivité électrique
 - 2.2.2.2. Activité en ions hydrogène (pH)
 - 2.2.2.3. Teneur en sels solubles
 - 2.2.2.4. Teneur en sulfures
 - 2.2.2.5. Matières organiques
 - 2.2.3. Cas particuliers
3. SPECIFICATIONS RELATIVES A LA MISE EN OEUVRE
 - 3.1. Contrôle de la fouille
 - 3.2. Contrôle de la plate-forme d'assise
 - 3.3. Implantation - Semelle de réglage - Nivellement

3.4. Déchargement - Stockage

3.4.1. Parement

3.4.2. Armatures

3.5. Montage des éléments préfabriqués

3.5.1. Montage des éléments préfabriqués de parement

3.5.2. Mise en oeuvre des armatures

3.5.3. Contrôle d'ensemble du massif

3.6. Mise en oeuvre du remblai

3.6.1. Contrôle de la qualité et de la compactibilité
du matériau de remblai

3.6.1.1. Contrôle de la qualité du remblai

3.6.1.2. Contrôle de la compactibilité du remblai

3.6.2. Mise en oeuvre des remblais

3.6.2.1. Contrôle de la mise en oeuvre

3.6.2.2. Déchargement et régilage

3.6.2.3. Compactage

3.6.2.4. Dispositions particulières

4. DISPOSITIONS DIVERSES

4.1. Brevets

4.2. Etudes des ouvrages en terre armée

ANNEXE 1. Contrôle de la continuité du revêtement de galvanisation des armatures, amorces et éclisses.

ANNEXE 2. Galvanisation des boulons.

ANNEXE 3. Modes opératoires.

METRE DESCRIPTIF

OUVRAGES EN TERRE ARMÉE A PAREMENT EN BETON

=====

1. GENERALITES

Les ouvrages en terre armée sont réalisés suivant la technique mise au point et brevetée par Henri VIDAL.

Ils sont constitués d'un remblai armé par des plats crantés en acier galvanisé à chaud.

Des éléments de peau reliés aux armatures retiennent le remblai entre les différents lits d'armatures. Cette peau est constituée par des plaques de béton. Les plaques préfabriquées comportent des amorces, également en acier galvanisé, permettant de fixer les armatures à l'aide de boulons \varnothing 12 en acier à haute résistance galvanisé à chaud.

2. QUALITE DES MATERIAUX

2.1. Ecailles de parement, joints, armatures

2.1.1. Parements-joints

Le parement des ouvrages en terre armée est constitué d'écailles préfabriquées en béton. Les dimensions extérieures des écailles courantes sont 1.50 m x 1.50 m avec une épaisseur minimale de 0.14m.

Les écailles ne présentent pas d'épaufrures, de fissures et de dégâts de surface et ont une teinte uniforme.

Les écailles sont généralement préfabriquées en usine dans des moules permettant d'obtenir une bonne régularité de leurs dimensions. Elles sont en béton non armé ou armé comprenant des étriers à adhérence améliorée. La dimension maximale des granulats ne peut excéder 25 mm. Le ciment utilisé est dosé au minimum à 350 kg/m³.

La résistance caractéristique du béton à 28 jours d'âge imposée par ce type d'élément est égale à R'_{wk} (28 jours) = 30 N/mm².

Avant expédition des éléments au chantier, la résistance individuelle des cubes servant à contrôler la cinétique de durcissement (cubes dits de chantier) ne peut être inférieure à 30 N/mm².

La qualité du béton est contrôlée suivant les modalités définies dans la circulaire n° 576-B/2 (fascicule 4.1) relative au contrôle du béton armé fabriqué en usine. Ces éléments doivent être considérés comme faisant partie de cette classe, même si les armatures sont dans certains cas, pratiquement inexistantes.

Les tolérances générales admises sur les dimensions des écailles sont de plus ou moins 5 mm. La différence entre les longueurs de deux diagonales ne peut excéder 10 mm. Dans le cas de parois lisses, la face avant des écailles doit présenter une planéité parfaite avec une tolérance de plus ou moins 5 mm sur 1.50 m.

Les écailles sont imbriquées les unes dans les autres par un système de goujons verticaux. La tolérance sur l'entre-axe goujon-tube de plastique est fixée à plus ou moins 4 mm.

Les écailles reposent les unes sur les autres par l'intermédiaire de joints horizontaux en caoutchouc. Ils sont directement sertis après bétonnage des écailles. Ces joints en caoutchouc, de masse spécifique 1.650 kg/m³, ont une forme crénelée et admettent des contraintes de compression de 3,5 N/mm² et 11,5 N/mm² respectivement pour des réductions d'épaisseur de 35 % et 50 %.

Les joints horizontaux et verticaux sont constitués soit de rubans de mousse de polyuréthane à cellules ouvertes, de section 4 cm x 4 cm et placés entre les redents des écailles, assurant l'étanchéité du parement vis-à-vis des particules fines du remblai, soit de filtres géotextiles dans le cas d'un remblai réalisé en matériaux très fins ou situé en eau douce.

Les filtres en géotextile utilisés dans les massifs en terre armée suivent les prescriptions techniques définies par la circulaire 576 NM du 24.10.83.

2.1.2. Armatures, amorces, éclisses, goujons

Les armatures sont des fers plats crénelés en acier galvanisé à chaud dont la section est de 40 mm ou 60 mm x 5 mm et dont la longueur est variable en fonction de la hauteur du massif armé.

Les différents lits d'armatures sont espacés verticalement de 0.75 m, à l'exception des lits supérieurs comportant des écailles particulières.

Les amorces sont constituées par des plats de même section que les armatures. Leurs têtes sont noyées dans les écailles en béton lors de leur fabrication. Les pattes perpendiculaires à la surface de l'écaille assurent la liaison avec les armatures à haute adhérence. L'ingénieur dirigeant se réserve le droit de tester, aux frais de l'adjudicataire, la résistance à l'arrachement qui doit au moins atteindre la résistance à la rupture de l'assemblage armature boulonnée sur l'amorce.

Les éclisses servent à prolonger les armatures à haute adhérence dans le cas où une longueur supérieure à la longueur standard est nécessaire. Leur utilisation ne peut diminuer la capacité de résistance des armatures.

Les amorces, les éclisses et les goujons sont également galvanisés à chaud.

Le profil géométrique des armatures doit assurer un ancrage compatible vis à vis des efforts de traction obtenus par calcul.

Les différents aciers à l'exception des ronds à béton, des ancrés de levage et des boulons sont en acier AE 235 A selon la norme NBN A21-101. Il appartient au constructeur de se prémunir contre les difficultés particulières qu'on peut rencontrer en galvanisant les aciers qu'elles soient dues au silicium ou à toute autre cause.

Le zinc employé pour alimenter le bain contient au moins 98,5 % de zinc pur. Les impuretés suivantes exprimées en % ne peuvent pas dépasser Pb : 1,40 - Cd : 0,20 - Fe : 0,05 , étant entendu que la teneur cumulée des impuretés ne peut être supérieure à 1,5 %.

Le contrôle de la galvanisation est réalisé par lot. Un lot se caractérise par un maximum de 1000 pièces semblables et par son homogénéité.

Un lot est homogène si les éléments constitutifs sont fabriqués avec le même acier de base provenant de la même usine productrice utilisant le même procédé de fabrication et s'ils sont galvanisés dans la même usine et selon un seul et unique procédé.

Par lot, il est prélevé des échantillons qui doivent permettre le contrôle du poids surfacique du revêtement de galvanisation, de sa continuité et de son adhérence.

2.1.2.1. Contrôle du poids surfacique du revêtement.

Pour ce contrôle, dix échantillons sont prélevés par lot.

Le poids surfacique du revêtement est exclusivement déterminé par dissolution chimique de celui-ci. Le cas échéant, les éprouvettes d'essais sont préalablement débarrassées des gouttes de zinc au moyen d'une lime. Les conditions d'acceptabilité du revêtement de galvanisation sont :

- a) aucun résultat ne peut impérativement être inférieur à 500 g/m^2
- b) la moyenne arithmétique des 10 résultats est au moins égale à 560 g/m^2

Au cas où l'une de ces conditions ne serait pas respectée, des contre-essais peuvent être demandés par l'entrepreneur. Dans ce cas, il est procédé dans le lot litigieux, à un nouveau prélèvement de 20 échantillons. Les conditions d'acceptabilité, appliquées sur les 20 échantillons, sont inchangées.

Le lot d'armatures donnant des valeurs inférieures à 500 g/m^2 , est mis au rebut.

Le contrôle non destructif de l'épaisseur du revêtement au moyen d'un appareil mesurant l'épaisseur locale n'est pas contractuel. Il peut être réalisé sur chantier afin d'avoir une estimation de l'épaisseur du revêtement, avant déchargement de la fourniture et réalisation des essais selon les modalités définies ci-avant.

2.1.2.2. Contrôle de la continuité du revêtement.

Par lot, il est prélevé cinq échantillons.

La continuité du revêtement de zinc est contrôlée en soumettant l'éprouvette à des immersions dans une solution de sulfate de cuivre.

Après immersion, le revêtement doit apparaître continu et le métal sous-jacent ne peut avoir été mis à nu en aucun point.

Le contrôle de la continuité du revêtement est effectué selon le processus opératoire prévu à l'annexe 1 des présentes prescriptions.

2.1.2.3. Contrôle de l'adhérence du revêtement.

Par lot, il est prélevé cinq échantillons.

L'essai d'adhérence décrit dans la NBN 657 - (5.3 page 17 - édition 1965) est supprimé et remplacé par celui prévu par l'ASTM 123-25 T de mai 1978. La surface plane galvanisée à contrôler est frappée par le marteau pivotant défini dans la norme dont la pointe trace dans le revêtement des empreintes parallèles distantes de 6,35 mm environ.

Aucun écaillage ou soulèvement du revêtement de zinc ne peut se produire entre les empreintes du marteau. Les empreintes doivent être distantes d'au moins 12,7 mm d'un bord de l'éprouvette.

L'écaillage ou le soulèvement au droit de l'empreinte est sans signification s'il ne s'écarte pas de plus de 1,6 mm de l'empreinte.

2.1.3. Boulons, ancrés de levage, ronds à béton.

Les boulons sont de classe 8/8 . Ils répondent aux conditions de la norme NBN 728. Leur diamètre est au moins égal à 12 mm et leur longueur à 30 mm. Ils sont galvanisés à chaud, suivant les prescriptions techniques définies à l'annexe 2 du présent document.

Les contrôles du revêtement de galvanisation des boulons sont effectués conformément au mode opératoire prévu dans cette annexe.

Les ancrés de levage sont en acier forgé. Un essai de mise en charge symétrique peut être réalisé à la demande du fonctionnaire dirigeant ou de son délégué. La charge d'extraction ou de rupture d'un ancre ne peut être inférieure à 30 kN.

Les ronds à béton sont du type défini sur les plans d'exécution. A défaut d'indications, ils sont censés d'être en BE 400 et répondent aux prescriptions des normes NBN A.24.301-302.

2.2. Matériau de remblai

Les matériaux de remblai utilisés dans les ouvrages en terre armée sont d'origine naturelle. Ils ne peuvent contenir ni terre végétale, ni matière putrescible, ni déchets domestiques.

Tous les essais tant physiques que chimiques doivent être faits sur un échantillon de sol présentant les caractéristiques définitives après mise en oeuvre et compactage sur une planche d'essais, telle que définie au § 3.6.1.2 du présent document.

Les caractéristiques des matériaux de remblai utilisables pour la terre armée, répondent aux critères suivants :

2.2.1. Critères géotechniques

Les matériaux de remblai doivent satisfaire à la fois à un critère mécanique et à un critère de mise en oeuvre.

2.2.1.1. Critère mécanique

Pour les armatures à haute adhérence, le matériau doit satisfaire à des critères granulométriques où interviennent les diamètres 0,080 mm et 0,020 mm.

1. Passant à 0,080 mm

- inférieur à 15 % : critère mécanique satisfait
- supérieur à 15 % : voir la teneur en éléments inférieurs à 0,020 mm

2. Teneur en éléments inférieurs à 0,020 mm

- inférieure à 10 % : critère mécanique satisfait
- de 10 à 20 % : critère mécanique satisfait pour autant que l'angle de frottement interne mesuré sur le matériau consolidé saturé, dans des conditions de cisaillement rapide, soit supérieur ou égal à 25°
- supérieure à 20 % : critère mécanique non satisfait

2.2.1.2. Critère de mise en oeuvre

La dimension des plus gros éléments avant compactage ne peut pas excéder 0,25 m, compte tenu de l'épaisseur des couches de remblai.

Il convient en outre de limiter la teneur en eau des matériaux sensibles à l'eau, afin d'éviter des difficultés lors de leur mise en oeuvre. La teneur en eau ne peut dépasser l'optimum obtenu lors de l'essai Proctor standard.

2.2.2. Critères chimiques et électrochimiques

Ces critères sont liés à la durabilité des armatures.

2.2.2.1. Résistivité électrique.

La résistivité du matériau de remblai est déterminée dans tous les cas. Elle est mesurée sur le matériau saturé après une heure de contact sol-eau à 20° C.

Elle doit être supérieure à 1000 ohm-centimètre pour les ouvrages hors d'eau , 3000 ohm-centimètre pour les ouvrages en eau douce et 5000 ohm-centimètre pour les ouvrages sous les voies ferrées électrifiées.

2.2.2.2. Activité en ions hydrogène (pH)

L'activité des ions hydrogène du sol, déterminée dans tous les cas, est mesurée dans l'eau extraite d'un mélange sol-eau. Sa valeur doit être comprise entre 5 et 10.

2.2.2.3. Teneur en sels solubles.

Elle n'est déterminée que pour les matériaux naturels dont la résistivité électrique est comprise entre 1000 et 5000 ohm-centimètre.

Concentration en Chlorure (Cl⁻)

- inférieure ou égale à 200 mg/kg pour des ouvrages hors d'eau
- inférieure ou égale à 100 mg/kg pour des ouvrages en eau douce

Concentration en Sulfate (SO_4^{--})

- inférieure ou égale à 1000 mg/kg pour les ouvrages hors d'eau
- inférieure ou égale à 500 mg/kg pour les ouvrages en eau douce

2.2.2.4. Teneur en sulfures

Elle n'est déterminée que lorsque l'origine du matériau laisse supposer la présence de sulfures.

La concentration en soufre doit être inférieure à 300 mg/kg pour les ouvrages hors d'eau et 100 mg/kg pour les ouvrages en eau douce.

2.2.2.5. Matières organiques

Les matériaux de remblai utilisés ne peuvent contenir plus de 5 % en poids de matières organiques.

Ces critères seront mesurés par des laboratoires agréés conformément aux modes opératoires définis dans l'annexe 3 jointe au présent document.

2.2.3. Cas particuliers.

L'utilisation de matériaux d'origine industrielle proposés comme matériaux de remblai, tels que stérils de mines ou de carrières, schistes houillers, laitiers, cendres volantes ... et satisfaisant à tous les critères géotechniques, chimiques et électrochimiques définis ci-dessus, doit en plus, obligatoirement, faire l'objet d'une étude spécifique complémentaire. En fonction du matériau proposé, l'ingénieur-dirigeant fixera les critères d'agrégation complémentaires et les moyens de contrôle en cas de leur utilisation. Ils ne pourront en aucun cas être mis en oeuvre sans l'accord de l'ingénieur-dirigeant.

3. SPECIFICATIONS RELATIVES A LA MISE EN OEUVRE

3.1. Contrôle de la fouille.

Ce contrôle implique une vérification de la cohérence entre les résultats de l'étude géotechnique disponible lors de l'adjudication et la nature des sols découverts pour la préparation de l'assise.

3.2. Contrôle de la plate-forme d'assise.

La plate-forme d'assise du massif en terre armée doit être réceptionnée en tant que niveau de fondation de l'ouvrage et doit, de ce fait, pouvoir supporter le poids des terres ajoutées en remblai et les surcharges appliquées au massif.

Le contrôle de l'état de la plate-forme d'assise s'effectue au moyen d'essais à la plaque tel que décrit au cahier des charges-type de l'Administration des Routes. Les essais de contrôle sur la plate-forme d'assise sont satisfaisants si le coefficient de compressibilité $M1$ tel que décrit au cahier des charges-type 150 est supérieur ou égal à 11 MN/m^2 .

L'entrepreneur doit prendre les dispositions nécessaires pour qu'en tout état de cause, l'assise du massif en terre armée soit à l'abri des venues d'eau pendant l'exécution des travaux.

Pour les ouvrages comportant des murs en retour fondés sur un remblai et limités par un talus (les quarts de cône des murs en retour des culées), l'entrepreneur veillera à obtenir, devant le massif à une distance minimale d'un mètre du parement, une assise présentant obligatoirement une portance identique à celle imposée sous le massif. Les remblais pourront, dans ce cas, devoir être mis en excédent compactés, puis rescindés.

Lorsqu'un mur en terre armée doit être réalisé contre un talus en déblai, à l'aide de matériaux de remblayage peu drainants, l'entrepreneur est tenu d'assurer l'évacuation des eaux d'infiltration au moyen d'un drainage disposé à l'arrière du massif. La base du drain doit se situer au niveau inférieur du massif. Le drainage est constitué par une couche filtrante sablo-graveleuse, avec interposition d'un tissu synthétique anticontaminant entre le massif terre armée et la couche filtrante et/ou la couche filtrante et le terrain naturel en déblai. Ces tissus doivent satisfaire aux prescriptions techniques définies par la circulaire 576 NM du 24.10.83.

3.3. Implantation Semelle de réglage - Nivellement

Le contrôle de l'implantation du parement est obligatoire ainsi que celui du nivellement de la semelle de réglage.

3.4. Déchargement - Stockage

3.4.1. Parement

Les écailles sont livrées sur camion, à plat, amorces vers le haut. Elles doivent être déchargées dans cette position.

Les écailles sont également stockées à plat par empilement maximum de cinq écailles avec interposition de bastings propres posés sur chant à l'intérieur des amorces, de manière à éviter leur déformation ou leur contact avec le parement de l'écaille stockée au-dessus. L'écaille inférieure de chaque pile est isolée du sol par bastings.

3.4.2. Armatures

Elles sont livrées par bottes de 50 unités d'un poids compris entre 1 et 2 tonnes. Les armatures de plus de 6 m de long doivent être déchargées à l'aide d'un palonnier. Les armatures sont stockées sur des bastings, à l'abri des boues et graisses de chantier.

3.5. Montage des éléments préfabriqués

3.5.1. Montage des éléments préfabriqués de parement

La stabilité du parement lors du remblayage est assurée pour le premier lit par des étais provisoires placés côté extérieur du mur et pour la partie courante par le blocage provisoire des possibilités de jeu du parement à l'aide de coins en bois et de serre-joints.

L'entrepreneur doit s'assurer que les dispositions suivantes soient bien respectées :

- les éléments mis en oeuvre et notamment les écailles de parement n'ont pas subi au cours de leur manipulation des dégradations qui nécessitent leur remplacement.
- le blocage du parement pendant la pose doit être bien assuré, jusque et y compris le dernier rang par l'utilisation de serre-joints et de coins en bois. Ces derniers sont mis en oeuvre au niveau des épaulements des écailles, uniquement à l'extérieur du parement.
- aucun coin ne peut être mis en place entre les écailles à l'intérieur du parement.
- dans les ouvrages, où l'on craint un entraînement des fines du remblai à travers les joints du parement sous l'action de l'eau, les joints verticaux traditionnels sont remplacés par des bandes de filtre en géotextile non tissé appliquées contre les écailles. Une largeur minimale de 40 cm est nécessaire pour assurer un bon recouvrement des joints.
- des filtres en géotextile non tissé sont également appliqués sur une largeur de 1 m contre les éléments d'angle en béton.
- la pose des écailles est effectuée au fur et à mesure de la montée du remblai et ne peut jamais être en avance par rapport à la mise en oeuvre de ce dernier pour éviter toute déformation du parement au cours du montage.

- le remblayage devant la face du mur doit être effectué avant que l'ouvrage atteigne 3 m de haut.
- après remblayage de chaque lit d'armatures, l'entrepreneur procède à des contrôles de verticalité du parement, afin de déceler toute tendance au déversement de celui-ci et de prendre les mesures qui s'imposent. On doit alors, soit effectuer un rattrapage sur le lit suivant si ce déversement est inférieur à la tolérance de montage, soit démonter la partie déversée s'il est supérieur à celle-ci.
- La tolérance de montage entre trois écailles adjacentes mesurées à l'aide d'une règle de 4.50 m de longueur (placée dans n'importe quelle direction) et s'appuyant au moins sur deux écailles ne peut pas excéder 25 mm . Cette tolérance de montage ne préjuge pas des écarts qui peuvent résulter des tassements du sol de fondation.
- l'alignement du mur doit être tel qu'il ne présente pas de discontinuité visuelle marquante.
- le hors plomb entre deux points quelconques situés à plus de 7 m de distance sur une même verticale ne peut être supérieur à 0,015 fois la racine carrée de la distance entre ces deux points.
- les coins en bois sont obligatoirement enlevés au fur et à mesure du montage avec un décalage de trois rangs, pour redonner au parement des possibilités d'articulation et éviter, en cas de tassement du sol de fondation, des dégradations des écailles.

Les écailles qui comportent des armatures témoins (contrôle de la durabilité des armatures) doivent être mises en oeuvre conformément aux plans d'exécution en présence d'un délégué de l'Administration.

3.5.2. Mise en oeuvre des armatures.

L'entrepreneur doit s'assurer que les armatures mises en oeuvre n'ont pas subi au cours de leur manipulation des dégradations qui nécessitent leur remplacement.

L'entrepreneur doit veiller à ce que les armatures prévues au plan d'exécution soient bien mises en oeuvre et fixées sur les amorces en attente dans le parement.

Les armatures sont posées entre les deux pattes des amorces. La partie filetée du boulon est dirigée vers le haut.

Les armatures doivent être posées à plat sur le remblai compacté. Les limites de zones d'armatures de longueurs différentes sont à repérer sur le parement.

Avant remblayage d'un lit, toutes les armatures doivent être boulonnées aux amorces avec un serrage suffisant (environ 1/3 de la valeur nominale dans le cas des boulons HR) pour assurer le contact de l'armature avec l'amorce.

3.5.3. Contrôle d'ensemble du massif

L'entrepreneur est tenu à suivre les tassements, dès le début de la construction de chaque ouvrage en terre armée, à partir de repères implantés sur le parement à une hauteur telle qu'ils soient toujours visibles, même après remblayage devant la fiche.

Pour des ouvrages de grande hauteur ou construits sur un sol très compressible, des repères supplémentaires peuvent éventuellement être implantés à d'autres hauteurs sur le parement, sur simple demande de l'ingénieur dirigeant. Celui-ci en fixera leur nombre et la localisation.

En cas de tassements importants des massifs implantés sur sol très compressible, la dernière rangée d'écaillés ne pourra être posée qu'après accord de l'ingénieur dirigeant.

Pour les ouvrages supportant un sommier de pont en leur sommet, l'entrepreneur est tenu d'effectuer des mesures de tassement du sommier aux différents stades de la construction du pont (culées, poutres, dalle, revêtement).

Les résultats des mesures périodiques des repères sont communiqués à l'ingénieur dirigeant.

3.6. Mise en oeuvre du remblai.

3.6.1. Contrôle de la qualité et de la compactibilité du matériau de remblai.

3.6.1.1. Contrôle de la qualité du matériau.

L'entrepreneur devra faire agréer par l'ingénieur dirigeant le matériau qu'il envisage d'utiliser pour remblayer le massif en terre armée. Le document technique d'agrégation comprendra au moins les renseignements suivants :

- la nature du matériau et sa provenance
- Une notice sur l'homogénéité présumée justifiant le nombre d'échantillons prélevés représentatif du matériau et de son emprunt.
- les résultats des essais physico-chimiques tels que définis au § 2.2 du présent document.
- les résultats des essais Proctor standard réalisés sur chaque échantillon représentatif.
- les propositions de l'entreprise pour son auto-contrôle de la qualité du matériau approvisionné.

3.6.1.2. Contrôle de la compactibilité du matériau.

L'ingénieur dirigeant exige, préalablement aux travaux, une planche d'essais dont la surface dépend de l'importance de l'ouvrage à ériger.

L'entreprise prépare à cet effet une aire d'essais où le matériau est mis en oeuvre en deux zones distinctes sur une couche d'épaisseur connue.

Le compactage des deux zones est réalisé au moyen de deux types d'engins :

- un compacteur à pneus ou vibrant dont la charge par roue est comprise entre 25 kN et 40 kN pour les rouleaux à pneus et dont la charge statique par unité de largeur est comprise entre 150 N/cm et 250 N/cm de génératrice pour les rouleaux vibrants.

- un rouleau vibrant dont la charge statique par unité de largeur est comprise entre 60 et 70 N/cm de génératrice.

L'entrepreneur fournit les caractéristiques de son matériel de compactage, le nombre de passes effectuées en fonction de l'épaisseur de la couche proposée.

Un contrôle du compactage est réalisé au droit des deux zones d'essais par mesurage du poids volumétrique sec (P.V.S.). Celui-ci doit au moins atteindre 98 % de l'optimum Proctor standard (OPN) pour les ouvrages supportant des sommiers de pont en leur sommet, et 95 % de l'optimum Proctor standard pour des ouvrages type murs de soutènement.

3.6.2. Mise en oeuvre des remblais.

3.6.2.1. Contrôle de la mise en oeuvre.

Au fur et à mesure de la montée du mur, un contrôle de la qualité du remblai doit néanmoins être périodiquement assuré.

Il comporte généralement la vérification de l'homogénéité de l'approvisionnement, le contrôle de la densité en place et de la teneur en eau.

Le programme normal d'essais de contrôle comprend :

- l'homogénéité de l'approvisionnement : 1 essai par 1.000 m³ de remblai.
- la densité en place et la teneur en eau :
 - 1 essai par 500 m³ de remblai pour des ouvrages type murs de soutènement.
 - 1 essai par 250 m³ de remblai pour des ouvrages culées de pont.

Seuls les essais de contrôle de l'homogénéité de l'approvisionnement sont à charge de l'entreprise.

Dans le cas d'utilisation de remblai d'origine industrielle, des contrôles périodiques d'identification (critères géotechniques, critères chimiques et électrochimiques, ainsi que les critères d'agrégation spécifiques imposés en 2.2.3.) sur les matériaux mis en oeuvre restent d'application.

Au cas où les contrôles des critères s'avéraient négatifs, l'entreprise démontrera le mur et enlèvera les couches concernées jusqu'à obtenir des résultats satisfaisants.

3.6.2.2. Déchargement et régalage.

Le déchargement des matériaux de remblai sur un lit d'armatures venant d'être apprêté doit se faire en commençant par le centre des premières armatures rencontrées par l'engin de transport.

Les engins de transport ne peuvent pas rouler sur les lits d'armatures. Dans des cas exceptionnels, où cette exigence ne pourrait être respectée, l'entrepreneur doit prendre les dispositions particulières pour ne pas endommager les armatures.

Le régalage doit suivre immédiatement le déchargement. Il doit se faire par bandes sensiblement parallèles au parement en commençant par le centre du massif et en progressant d'abord vers l'arrière du massif. Lorsque la partie arrière de la couche est remblayée, on reprend le régalage de la partie avant en progressant, bande après bande, du centre vers le parement.

Il est strictement défendu de pousser le matériau parallèlement aux armatures en partant de l'intérieur du massif vers le parement.

Le régalage doit se faire en couches dont l'épaisseur soit correspond au maximum au demi-espacement des lits d'armatures, soit est conforme aux résultats de l'aire d'essais citée en 3.6.1.2. .

L'entrepreneur doit s'assurer que les dispositions suivantes soient bien respectées :

- la circulation sur les armatures est strictement interdite dans le cas d'emploi d'engins à chenilles ;
- le nivellement de chaque couche doit être tel que toutes les armatures entrent en contact avec le sol sur la totalité de leur surface, ce qui peut nécessiter le recours à un bourrage manuel à la pelle, notamment au niveau de la jonction parement-armature et dans les zones d'accès difficiles ;
- Chaque plate-forme réalisée doit permettre un écoulement rapide des eaux pluviales vers l'arrière du massif. Il ne peut être toléré que l'écoulement de ces eaux se fasse au travers ou par delà le parement. Les dispositions telles que pentes transversales et longitudinales, fermeture de la plate-forme ..., sont susceptibles d'éviter toute stagnation des eaux sur la plate-forme.

Si malgré ces précautions, le remblai venait à se saturer, la reprise pourra se faire soit en utilisant une couche de matériau drainant, soit en scarifiant ou simplement en purgeant la zone saturée.

- Les eaux de ruissellement provenant d'un bassin versant devront être détournées du chantier.
- Dans le cas de culées de pont avant la construction du sommier, la dernière plate-forme du remblai est recouverte d'une membrane étanche disposée avec une pente de 4 % vers l'intérieur du massif. Cette membrane doit être suffisamment résistante pour ne pas être déchirée ou perforée. La protection de la membrane étanche est assurée par la pose d'une couche de matériau drainant de 0.30 m d'épaisseur. Les eaux de ruissellement sont recueillies grâce à un drain disposé à l'arrière du massif au niveau de la membrane étanche. L'entrepreneur doit assurer une évacuation latérale des eaux en dehors du massif armé.

3.6.2.3. Compactage

Le matériel de compactage pour le remblai proprement dit est identique à celui défini lors de la planche d'essais (§ 3.6.1.2.).

L'engin lourd est utilisé sur la totalité du massif à l'exception d'une bande de 1.50 m située derrière les écaïlles. Cette zone près des écaïlles est compactée uniquement à l'aide du rouleau vibrant.

La compaction est contrôlée par des mesures de densité en place et de teneur en eau.

Le degré de compaction du massif en terre armée, ainsi que le remblai situé à l'arrière des sommiers dans le cas de culées de pont, est satisfaisant si le poids volumétrique sec des échantillons prélevés est supérieur ou égal à 98 % de l'optimum Proctor standard pour des ouvrages avec culées de pont en leur sommet et à 95 % de l'optimum Proctor standard pour des ouvrages type murs de soutènement.

Lorsque les résultats de ces essais n'atteignent pas les valeurs imposées ci-dessus sur toute la surface ou sur une partie de celle-ci, l'entrepreneur doit prendre les dispositions adéquates jusqu'à l'obtention d'une valeur conforme.

3.6.2.4. Dispositions particulières.

En cas d'arrêt prolongé du chantier pendant l'hiver ou en période pluvieuse, l'entrepreneur doit prendre à sa charge toutes les dispositions pour l'assainissement de son chantier. Le cas échéant, une protection par membrane étanche lestée contre les pénétrations d'eau, de ruissellement ou de fonte de neiges, sera placée sur la plate-forme en terre armée.

A la reprise des travaux, tant les dernières rangées d'écaïlles que le corps du remblai feront l'objet d'un examen minutieux afin de déceler les défauts ou déformations. Le cas échéant, le mur sera démonté dans la zone litigieuse.

4. DISPOSITIONS DIVERSES

4.1. Brevets

La terre armée, utilisant l'association de terre et d'armatures, ainsi que les éléments de peau et les armatures, font l'objet de brevets.

- brevet n° 754.057 du 30 septembre 1970
- brevet n° 843.373 du 24 décembre 1976
- brevet n° 846.241 du 15 mars 1977
- brevet n° 867.545 du 27 septembre 1978
- brevet n° 869.361 du 29 janvier 1979
- brevet n° 882.289 du 18 septembre 1980

Les dispositions de l'article 14 § 1 du cahier général des charges sont dès lors d'application.

4.2. Etudes des ouvrages en terre armée

La vérification de la stabilité interne et externe des ouvrages en terre armée incombe à l'entrepreneur. Pour la stabilité interne des structures, les hypothèses et méthodes de calcul prescrites par le LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de FRANCE) sont d'application.

POUR LE MINISTRE :
Le Secrétaire général ,

ir. R. DE PAEPE

CONTROLE DE LA CONTINUITE DU REVETEMENT DE GALVANISATION
DES ARMATURES, AMORCES ET ECLISSES POUR OUVRAGES EN TERRE ARMEE.

1. Eprouvette.

On utilise une éprouvette plane permettant l'immersion verticale d'une surface suffisante pour satisfaire au mode opératoire décrit ci-dessous.

2. Réactif.

Solution fraîchement préparée de sulfate de cuivre obtenue en dissolvant 314 g de sulfate de cuivre cristallisé ($\text{Cu SO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) dans un litre d'eau distillée.

Si nécessaire, la solution est neutralisée par agitation en présence d'excès de carbonate ou d'oxyde de cuivre (1 à 2 g par litre de solution).

Après 48 heures, la solution surnageante est décantée ou filtrée.

Le réactif donne une réaction acide au tournesol et neutre au méthylorange.

La masse volumique de la solution doit être égale à $1,170 \pm 0,002$ g/ml à la température de $20 \pm 2^\circ \text{C}$. Si celle-ci est trop forte par suite d'utilisation de sulfate de cuivre en partie déshydraté, ramener la solution à la masse volumique voulue par addition progressive d'eau distillée.

3. Mode opératoire.

Le volume de la solution en millilitres sera au moins égal à huit fois la surface en cm^2 de la partie immergée de l'éprouvette.

Pour faire l'essai, utiliser un récipient en matériau inerte au sulfate de cuivre et de dimensions telles qu'il y ait toujours au moins un espace de 25 mm entre les parois du récipient et les éprouvettes immergées.

L'éprouvette est dégraissée (benzène, trichloroéthylène ou dissolvant similaire). Pendant et après ces manipulations, il est interdit de toucher avec les doigts les surfaces qui seront immergées.

La température de la solution doit être maintenue à $20 \pm 2^\circ \text{C}$ pendant toute la durée de l'essai.

L'éprouvette est soumise à des immersions d'une durée d'une minute chacune. En cours d'immersion, l'éprouvette est tenue verticalement en évitant de provoquer une agitation de la solution.

Le nombre d'immersions est conforme au tableau suivant.

Epaisseur de l'acier	Nombre minimal d'immersions sans mise à nu de l'acier
épaisseur ≥ 5 mm	7
1 mm \leq épaisseur < 5 mm	6

Après chaque immersion, l'éprouvette est immédiatement lavée sous eau courante en frottant légèrement avec du coton, de manière à enlever le cuivre normalement peu adhérent déposé sur le zinc.

4. Remarque.

Sur des échantillons dont le dépôt de zinc est assez fortement oxydé, il peut se produire un faux dépôt de cuivre qui ne s'élimine pas, même par broyage. Sur les zones rouges ainsi douteuses, on dépose une goutte d'acide chlorhydrique. S'il se produit une forte effervescence, due à l'attaque du zinc, il s'agit effectivement d'un faux dépôt de cuivre; s'il ne se produit aucune effervescence, il s'agit d'un dépôt de cuivre adhérent sur le fer mis à nu.

Sur des échantillons présentant ainsi le phénomène du faux dépôt de cuivre, et à l'exception des échantillons de petite surface tels, par exemple, les fils d'acier, on peut effectuer le traitement correctif suivant. Après dégraissage de l'échantillon au benzène, on procède à un décapage d'une durée de quinze secondes dans une solution d'acide sulfurique, à 35 g d'acide sulfurique par litre d'eau. Après ce décapage, les échantillons sont rincés très soigneusement à l'eau distillée et essuyés avec de l'ouate propre, avant d'être immergés dans la solution de sulfate de cuivre.

GALVANISATION DES BOULONS UTILISES
DANS LES OUVRAGES EN TERRE ARMEE.

1. Qualité de la galvanisation.

Le revêtement de zinc est obtenu exclusivement par galvanisation à chaud par immersion.

Cette opération est effectuée de façon à obtenir un revêtement de zinc lisse, adhérent, uniforme, continu, complet, exempt de toutes imperfections incompatibles avec une galvanisation de bonne qualité ou susceptibles de compromettre l'usage prévu des pièces.

La galvanisation est conduite de façon à éviter les engorgements des fonds de filet.

2. Qualité du zinc.

La qualité du zinc employé pour alimenter le bain est identique à celle définie pour la galvanisation des armatures, amorces et éclisses (article § 2.1.2)

3. Usinage des pièces.

Après leur galvanisation, à l'exception éventuelle du filet des écrous, les pièces ne sont soumises à aucune opération de découpage, grattage, limage ou toute autre opération de finition susceptible d'entamer le dépôt de zinc.

Les écrous peuvent être retaraudés après galvanisation, à la mesure des filets galvanisés des vis correspondantes, de manière à ce qu'ils puissent se monter entièrement à la main, sans jeu appréciable.

Les vis ne comportent aucune plage non galvanisée. Le filet des écrous qui ont été retaraudés doit recevoir une protection à soumettre à l'ingénieur-dirigeant.

4. Épaisseur du revêtement.

Les spécifications d'épaisseur minimale du revêtement pour les boulons utilisés dans les ouvrages en terre armée sont les suivantes :

- épaisseur moyenne minimale du revêtement
sur l'échantillon : 0,050 mm
- épaisseur minimale du revêtement sur chaque individu
de l'échantillon : 0,040 mm

5. Réception.

5.1. Echantillonnage.

Le lot est l'ensemble des individus à accepter ou à refuser ensemble sur base des contrôles effectués.

Chaque lot donne lieu, en vue des contrôles, au prélèvement d'un échantillon composé d'individus qui sont testés.

Chaque lot, dans lequel sont prélevés en une fois les individus de l'échantillon, est composé de pièces :

- de même type et de même classe;
- de même diamètre nominal;
- de même longueur nominale.

Pour les lots de 1.000 pièces ou moins, l'échantillon est composé de cinq pièces prélevées au hasard dans le lot.

Une pièce supplémentaire est prélevée par tranche de 1.000 pièces supplémentaires du lot, lorsque ce dernier est composé de 1.000 à 10.000 pièces. Trois pièces supplémentaires sont prélevées par tranches de 10.000 pièces supplémentaires du lot, lorsque ce dernier comprend plus de 10.000 pièces.

5.2. Exécution des contrôles.

5.2.1. Examen visuel.

L'examen visuel porte sur la continuité et l'aspect général du revêtement et sur la recherche des imperfections.

5.2.2. Contrôle de la continuité du revêtement.

Le contrôle de la continuité du revêtement est effectué par l'essai par immersion au sulfate de cuivre suivant le mode opératoire décrit dans le cadre du contrôle des armatures (voir annexe 1).

Les boulons et les écrous (parties non filetées) sont soumises à au moins cinq immersions d'une durée d'une minute. Les parties filetées ne sont soumises qu'à quatre immersions d'une durée d'une minute.

5.2.3. Contrôle de l'épaisseur du revêtement.

Le respect des spécifications d'épaisseur minimale du revêtement, imposées ci-dessus (§ 4), est vérifié par contrôle par jauge magnétique.

Les points de mesure de l'épaisseur de couche sont les suivants :

pour les boulons : à peu près au milieu de la surface supérieure de la tête, ou à peu près au milieu du bout chanfreiné de la tige;

pour les écrous : à peu près au milieu d'un des 6 pans de l'écrou.

5.2.4. Contrôle de l'adhérence du revêtement.

L'adhérence du revêtement est contrôlée en procédant à des entailles au moyen d'un instrument parfaitement tranchant jusqu'à atteindre l'acier de base et en tentant de soulever le revêtement. Il ne peut se produire d'écaillage ou de décollement du revêtement.

6. Acceptation.

Si les contrôles imposés donnent des résultats satisfaisants, le lot est accepté.

7. Contre-essais.

Si l'échantillon n'est pas conforme aux spécifications, on soumet aux contrôles deux nouveaux échantillons, prélevés de la même manière que le premier.

Si les deux nouveaux échantillons sont conformes, le lot est accepté.

Dans le cas contraire, il est refusé.

MODES OPERATOIRES

1. Mesure de l'angle de frottement interne du matériau de remblai pour la terre armée.

1.1. Principe

La mesure de l'angle de frottement interne d'un matériau de remblai pour la terre armée se fait par cisaillement direct à la boîte sur échantillons saturés et consolidés. L'essai diffère de l'essai classique essentiellement par le mode de préparation des éprouvettes. On ne donne ici que le détail des manipulations spécifiques à l'essai "terre armée" .

1.2. Mode opératoire

- écrêter le sol à 5 mm
- prendre une certaine quantité de ce sol sec (poids W_d) ou humide (poids W)
- si le sol est humide, mesurer la teneur en eau w et déterminer le poids sec :

$$W_d = \frac{W}{1 + \frac{w}{100}}$$

- le saturer progressivement en le triturant, jusqu'à l'amener dans un état proche de l'état liquide.
- déverser cet échantillon remanié, sans le compacter, dans la boîte de cisaillement munie de pierres poreuses et papiers filtres.
- appliquer progressivement une charge normale jusqu'à la valeur de $0,2 \text{ N/mm}^2$ dans le but d'éviter l'extrusion du sol.

- consolider chaque éprouvette sous $0,2\text{N/mm}^2$ pendant 24 h (ou jusqu'à ce que la hauteur h de l'éprouvette se stabilise). Noter la hauteur h_j en fin de chargement.
- cisailier les éprouvettes sous trois valeurs de la contrainte normale au moins (entre $0,05\text{N/mm}^2$ et $0,2\text{ N/mm}^2$) à une vitesse de 1 mm/mn.

1.3. Présentation des résultats.

On trace la courbe intrinsèque et on détermine :

- la cohésion c
- l'angle de frottement interne Φ

Il convient de déterminer également le poids volumique sec lors de l'essai

$$\gamma_d = \frac{W_d}{S \times h_j}$$

où S est la section de la boîte.

2. Mesure de la résistivité du matériau de remblai à saturation.

2.1. Principe.

La résistivité est mesurée après la saturation en eau du matériau de remblai. Le sol soumis à l'essai est d'abord écrêté à 25 mm, puis placé dans une boîte standard en matériau isolant à trois compartiments (fig.1 et 2). La saturation en eau est obtenue lorsque le niveau de l'eau se stabilise au niveau de la surface du sol.

On mesure la résistance électrique R du volume de sol et l'on en déduit, en utilisant les caractéristiques géométriques de la boîte (section S , longueur du volume de sol L) $p = R \frac{S}{L}$, exprimée en ohm-centimètre.

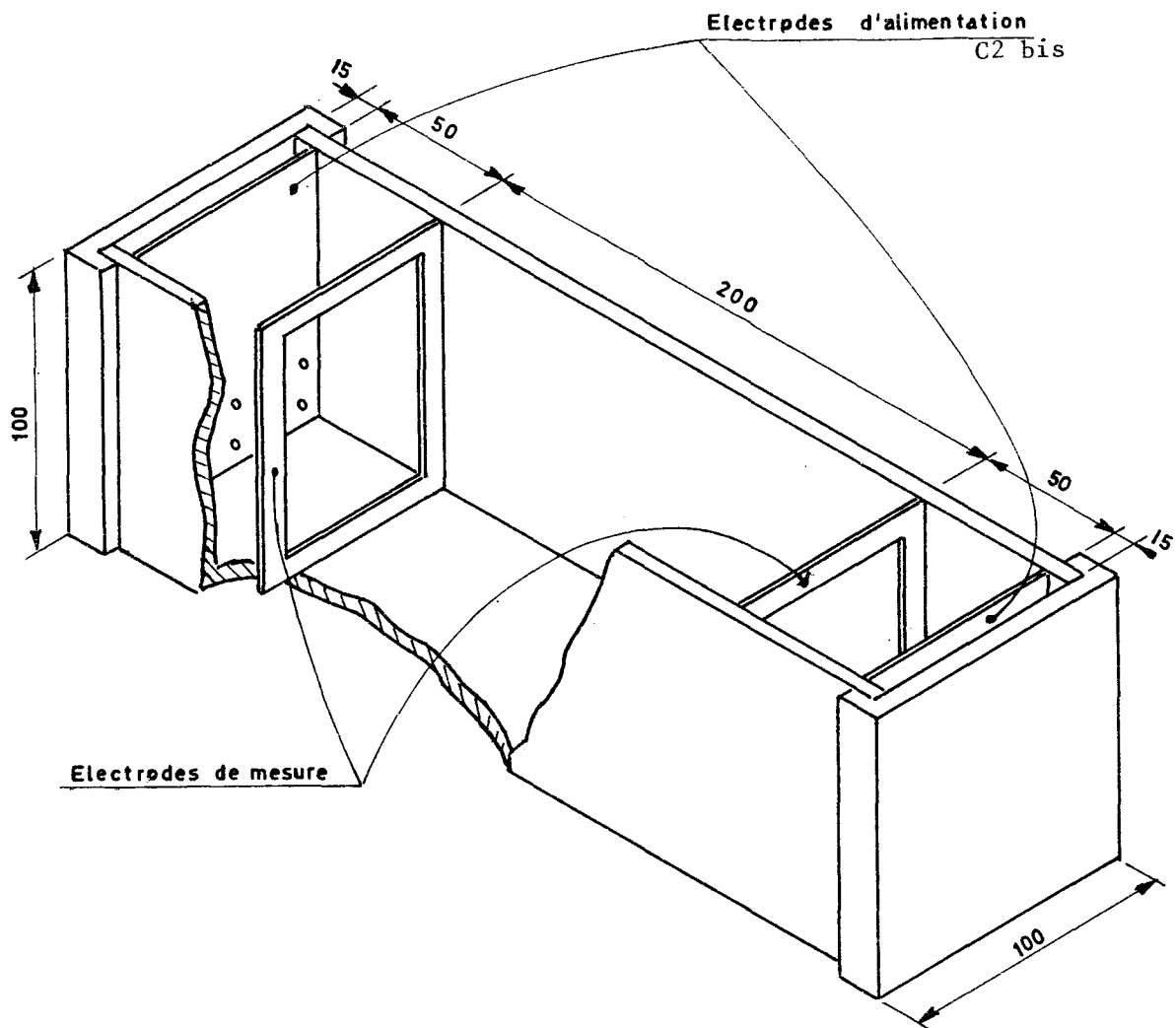


Fig. 1 : Cellule de résistivité pour la mesure en courant continu
(dimensions en millimètres)

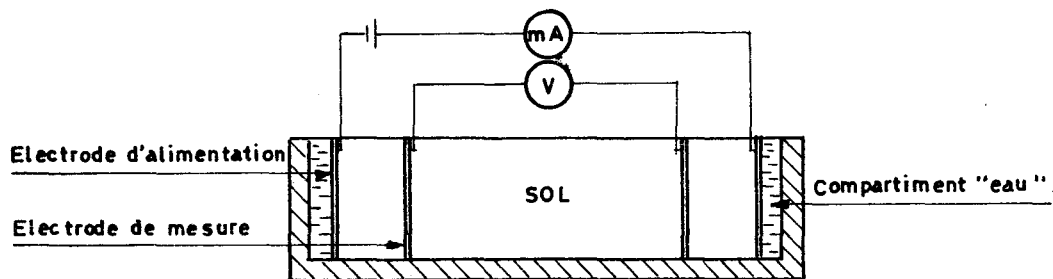


Fig. 2 : Dispositif pour la mesure en courant continu

2.2. Méthodes et matériels.

Il est possible de déterminer la résistance du matériau de remblai par deux méthodes utilisant deux matériels différents.

2.2.1. Mesure en courant continu

La cellule de mesure est en matériau isolant (matière plastique incassable et transparente, si possible), de forme parallélépipédique à section carrée S (100 x 100 mm). Elle est munie de deux électrodes d'alimentation séparant les deux compartiments "eau" du compartiment "sol" central, et de deux électrodes de mesures placées dans le compartiment "sol" et délimitant le volume de sol testé. Les électrodes sont en acier inoxydable. Les électrodes d'alimentation sont des plaques percées à leur partie inférieure de trous de faible diamètre permettant le passage de l'eau seule. Les électrodes de mesures sont des cadres ne perturbant pas le champ électrique créé par les électrodes d'alimentation. Les distances entre les deux électrodes de mesure sont de 200 mm et entre une électrode d'alimentation et une électrode de mesure de 50 mm (fig.1). Le volume des compartiments "eau" doit être inférieur au dixième du volume total de la cellule.

Le dispositif de mesure comporte une alimentation en courant continu (pile, batterie ...), un milliampèremètre et un voltmètre (gamme de 1 V à 10 V) (fig.2). De la résistance $R = V/I$ de l'élément de sol de longueur L , on déduit la résistivité $\rho = R \frac{S}{L}$ de l'élément de sol.

2.2.2. Mesure en courant alternatif

Il est possible en utilisant une alimentation à fréquence moyenne (1000 Hz) de déterminer la résistivité des matériaux de remblai avec une cellule ne comportant que deux électrodes. La boîte possède les mêmes caractéristiques générales que la précédente (fig.3).

La mesure s'effectue à l'aide d'un pont de Kohlrausch (fig.4) (pont de Wheastone en courant alternatif) possédant des gammes de 10 ohm à 1 méga-ohm.

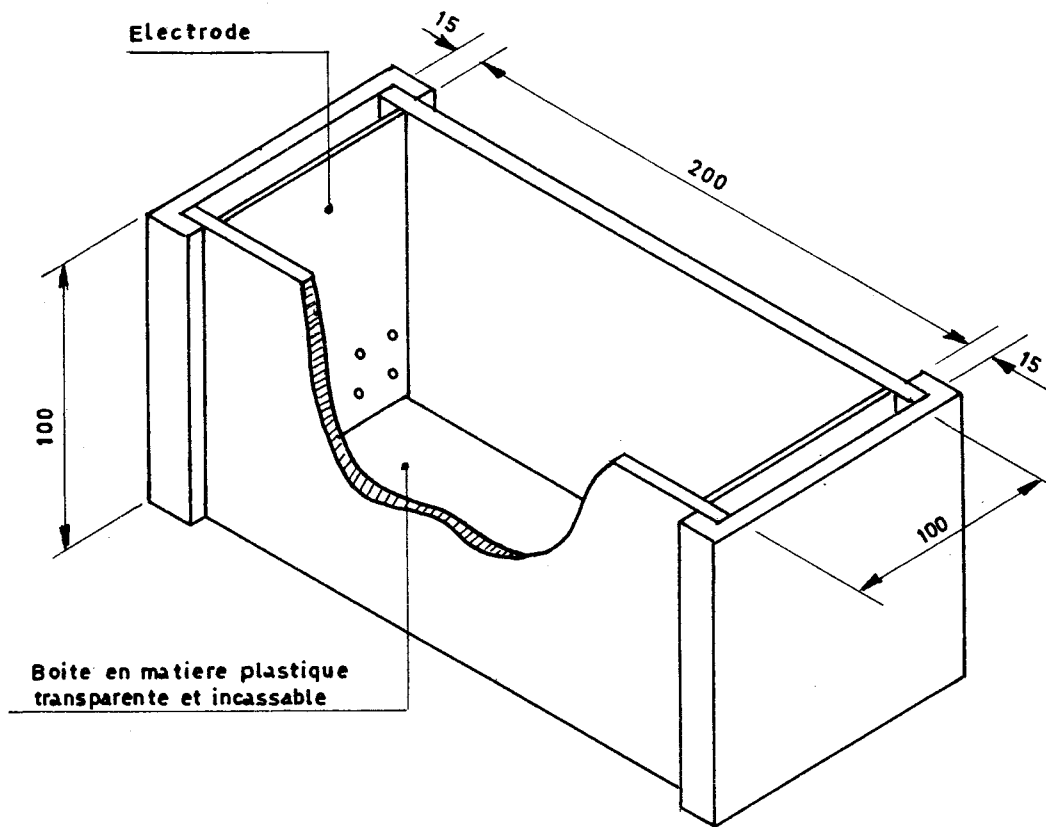


Fig. 3 : Cellule de résistivité pour la mesure en courant alternatif
(dimensions en millimètres)

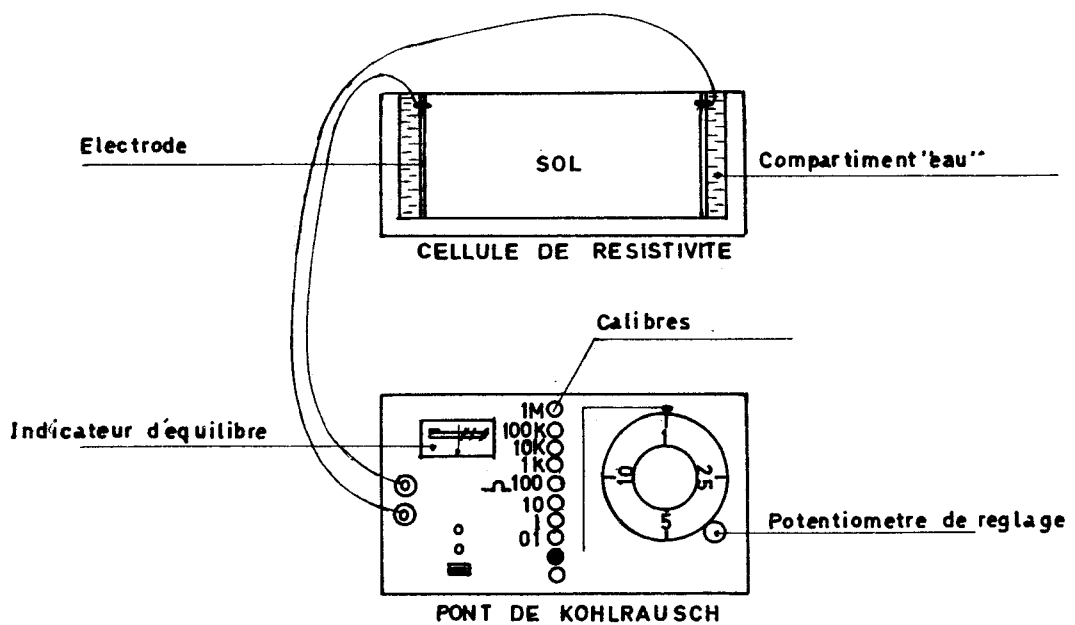


Fig. 4 : Dispositif pour la mesure en courant alternatif

La lecture donne directement la résistance R du compartiment "sol" d'où l'on déduit la résistivité. Cette méthode est adaptée à des mesures sur chantier.

2.3. Mise en oeuvre.

La boîte est lavée puis rincée avec une eau distillée ou permutée, de résistivité supérieure à 0,2 mégaohm-centimètre (cette valeur doit être contrôlée, dans la boîte elle-même). Le sol écrêté à 25 mm est placé dans le compartiment central par couches successives compactées jusqu'au niveau supérieur de la cellule de manière à obtenir une densité voisine de celle de mise en oeuvre.

On verse doucement l'eau distillée ou permutée sur le sol ainsi que dans les deux compartiments "eau" jusqu'à atteindre le niveau supérieur de la cellule dans les trois compartiments, ce qui correspond à la saturation.

Par convention, on adopte la valeur de la résistivité mesurée après une heure de saturation à 20° C. Pour des températures différentes, on effectue une correction de température en utilisant la formule empirique suivante, valable pour des températures comprises entre 5 et 30° C :

$$P_{20^{\circ} C} = \frac{p_t (20 + t)}{40}$$

où t est la température (en °C)

Remarque.

Pour les ouvrages immergés en eau douce, la résistivité est également mesurée en saturant le sol avec l'eau du site.

3. Détermination du pH et des concentrations en sels solubles

Les déterminations du pH et des concentrations en sels solubles des matériaux de remblai s'effectuent sur la solution obtenue par lavage de ces matériaux, selon la procédure suivante :

- écrêter le matériau à 25 mm (ne jamais le broyer)
- déterminer la teneur en eau initiale W_0 en % de l'échantillon étudié (sol humide)
- prélever une masse M de sol correspondant à un kilogramme de sol sec, soit

$$M = \frac{1}{1 - \frac{W_0}{100}} \times 1 \text{ kg}$$

- placer cette masse dans un récipient propre de dimension suffisante (2 à 5 litres) muni d'un système de fermeture
- ajouter un litre d'eau distillée ou permutée (de résistivité supérieure à 0,2 méga-ohm-centimètre)
- agiter le mélange sol-eau pendant 2 mn au début, laisser reposer 45 mn, agiter à nouveau 2 mn et laisser reposer 15 mn
- décantier, centrifuger et filtrer (sur papier) environ 200 cm³ de solution qui serviront pour les mesures.

3.1. Activité des ions hydrogène (pH)

3. Dosage des ions SO₄⁻⁻

- 1) Prendre 100 cm³ de la solution de sol
- 2) Ajouter quelques gouttes d'acide chlorhydrique (HCL) pour ajuster le pH à 1 environ
- 3) Chauffer jusqu'à ébullition
- 4) Ajouter du Chlorure de baryum (BaCl₂) : 1 goutte par 10 ppm de SO₄⁻⁻ (10 à 20 % en excès)
- 5) Filtrer le précipité sous vide et sur verre fritté
- 6) Sécher et peser le verre fritté (M_1)

- 7) Laver le verre fritté 3 fois à H₂O bouillant
- 8) Laver le verre fritté 3 fois à l'éthanol
- 9) Laver le verre fritté 3 fois à l'éther
- 10) Sécher et peser le verre fritté (M2)
- 11) $[SO_4^{--}] = (M2 - M1) \times 4,11$

$$M2, M1 = \text{mg}$$

$$[SO_4^{--}] = \text{ppm ou mg/l}$$

3.3. Dosage des ions Cl⁻ (fig. 5 et 6)

- 1) Prendre 50 cm³ de la solution de sol
- 2) Ajuster le pH à 1-2 avec de l'acide nitrique (HNO₃)
- 3) Placer dans la solution une électrode au sulfate mercurieux et une électrode d'argent reliées à un millivoltmètre
- 4) Agiter la solution au moyen d'un agitateur magnétique
- 5) Ajouter par faibles quantités du nitrate d'argent AgNO₃ (N/10, N/100, N/1000) et relever les variations du potentiel
- 6) Reporter sur une courbe la variation du potentiel en fonction du volume de Ag NO₃ et relever le volume v correspondant au virage
- 7) Soit V (cm³) le volume de l'échantillon de la solution de sol utilisé pour le dosage

M (mole/litre) le titre de la solution de nitrate d'argent

v (cm³) le volume de AgNO₃ au point d'inflexion de la courbe d'oxydo-réduction

$$[Cl^-] = 35,5 \frac{v}{V} 1000 M \quad \text{mg/l ou ppm}$$

4. Détection des sulfures présents dans les matériaux de remblai

4.1. Généralités

La recherche des sulfures s'effectue sur le matériau écrêté à 2 mm. On attaque les sulfures par un acide fort et on caractérise l'hydrogène sulfuré formé.

Dosage des ions Cl^-

Fig. 5

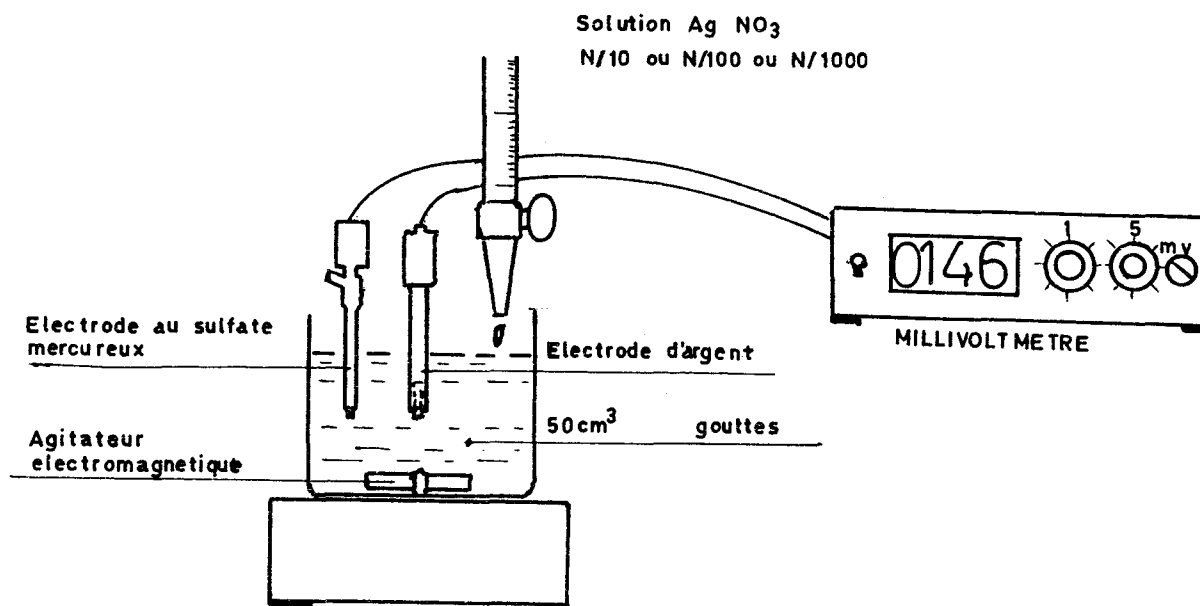
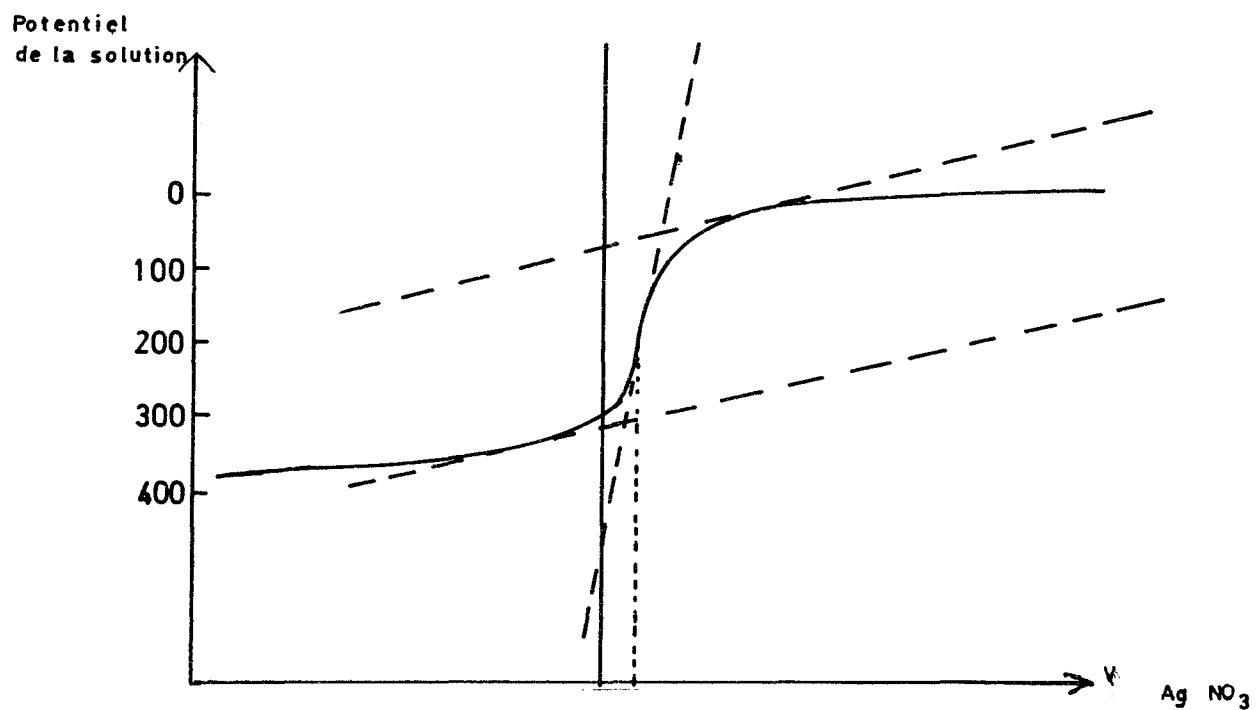


Fig. 6



4.2. Recherche qualitative des sulfures.

Dans un tube à essai contenant au moins 5 grammes d'échantillon, ajouter quelques gouttes d'eau distillée ou permutée et 1 ml d'acide nitrique concentré. Boucher l'orifice du tube à essai par un morceau de papier filtre imbibé d'acétate de plomb, chauffer légèrement. Si le papier se colore en brun, l'échantillon contient des sulfures. En cas de présence de sulfures, leur dosage sera effectué selon la procédure définie ci-dessous.

4.3. Dosage des ions sulfures S^{--}

- 1) Faire un dosage préalable de SO_4^{--} (C_1)
- 2) Prélever 100 cm^3 de la solution de sol
- 3) Ajouter de l'eau régale (1 volume d'acide nitrique HNO_3 pour 2 volumes d'acide chlorhydrique HCl concentré) pour oxyder les sulfures en sulfates
- 4) Peser les SO_4^{--} (C_2)
- 5) $[S^{--}] = \frac{C_2 - C_1}{C_2, C_1} \times 0,33$
 $[S^{--}] : \text{ppm ou mg/l}$

5. Mesures de la teneur en matières organiques

La détermination de la teneur en matières organiques s'effectue selon le mode opératoire défini dans le cahier des charges type 150.

METRE DESCRIPTIFMASSIFS EN TERRE ARMEE1. Fourniture et pose d'écailles de béton armé

y compris les éléments nécessaires à la réalisation des plaques et à la jonction des armatures, notamment les amorces d'armatures et la boulonnerie de raccordement, les raccords, ainsi que les joints horizontaux et verticaux ainsi que les bandes de géotextiles.

- a) Ecailles de béton non armées de 14 cm d'épaisseur
Surface présumée : . . . m²
- b) Ecailles de béton armées de 14 cm d'épaisseur
Surface présumée : . . . m²
- c) Ecailles de béton armées de 14 cm d'épaisseur
pour haut de culées
Surface présumée : . . . m²
- d) Ecailles de béton armées de 18 cm d'épaisseur
Surface présumée : . . . m²
- e) Eléments d'angle en béton
Longueur présumée : . . . m
- f) Dalles préfabriquées pour joints de construction
Longueur présumée : . . . m

2. Fourniture et pose des armatures de terre armée en acier galvanisé

ainsi que toutes les sujétions afférentes à cette pose.

a) Armatures de section 40 mm x 5 mm

Remarque :

à l'exclusion des amorces réglées avec les écailles

Longueur présumée : . . . m

b) Armatures de section 60 mm x 5 mm

Même remarque

Longueur présumée : . . . m

c) Eclisses par armatures de longueur totale supérieure
à 10 m (comprenant 2 plats et 2 boulons)

Nombre présumé d'éclisses : . . . pièces

3. Déblais en terrain de toute nature

nécessaires pour réaliser une plate-forme d'assise horizontale du massif en terre armée et la fouille de la semelle de réglage, y compris réglage, transport et évacuation soit en dehors du domaine de l'Etat, soit aux lieux de réemploi dans l'étendue des chantiers, soit aux lieux de dépôts prévus suivant les prescriptions du cahier spécial des charges.

Volume présumé : . . . m³

4. Supplément de prix au poste 3 pour déblais en terrain rocheux

Volume présumé : . . . m³

5. Déblais de sol insuffisamment portant

sous la plate-forme d'assise du massif en terre armée, après enlèvement de la terre végétale suivant accord de l'ingénieur dirigeant, y compris transport, évacuation en dehors du domaine public sur des dépôts que l'entrepreneur se procure à ses frais. Le remplacement des mauvaises terres est compris dans le poste 6.

Volume présumé : . . . m³

6. Fourniture et mise en oeuvre de remblais

de bonnes terres pour l'aménagement de la plate-forme d'assise du massif en terre armée, y compris compactage et régilage.

Volume présumé : . . . m³

7. Fourniture et mise en oeuvre du remblai armé

y compris compactage et régilage

Volume présumé : . . . m³

8. Fourniture et mise en oeuvre de béton maigre

pour semelle de réglage, y compris coffrage, implantation et travaux accessoires.

Volume présumé : . . . m³

9. Fourniture et mise en oeuvre de sable stabilisé

au ciment, y compris damage.

Volume présumé : . . . m³

10. Fourniture et mise en oeuvre d'une membrane plastique étanche

Surface présumée : . . . m²

