

JAILLOUX J.-M.

Société La Terre Armée, France

RAHARINAIVO A.

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, France

Propriétés physico-chimiques des sols utilisés dans la terre armée

Physico-chemical properties of soils used in reinforced earth structures

The resistivities, pH, chlorides and sulphates contents were measured in 235 soils selected from various sites in France.

The results, presented in histograms, indicate that almost every soil meets specifications for reinforced earth.

It was observed that soils with good mechanical properties also have good physico-chemical properties.

I - GENERALITES

La détermination quantitative de l'agressivité d'un sol, vis-à-vis d'un métal placé à son contact, peut actuellement être effectuée grâce à des méthodes électrochimiques qui fournissent la valeur réelle de la vitesse de corrosion (1). Cependant ces méthodes ne peuvent constituer un critère de sélection a priori du matériau de remblai. La difficulté de l'appréciation de l'agressivité d'un sol provient du nombre très important de facteurs influant sur les phénomènes de corrosion. L'expérience acquise par toutes les études de corrosion dans les sols effectuées en laboratoire et in-situ fait ressortir la prédominance de quatre facteurs qui sont :

- la résistivité du sol
- le pH
- la teneur en chlorures
- la teneur en sulfates

Leur détermination, par l'analyse physico-chimique du sol dans des conditions bien précisées, constitue l'essentiel de l'étude d'un sol. La comparaison de la valeur de chacun des paramètres avec des critères, définis par ailleurs sur la base des résultats d'études électrochimiques, sanctionnera la convenance du matériau pour l'application envisagée.

II - PRELEVEMENTS ETUDIÉS

Nous présentons une étude statistique de résultats d'analyses portant sur 235 sols, prélevés sur le territoire français. Tous ces sols présentaient des caractéristiques mécaniques satisfaisantes pour leur mise en oeuvre en terre armée. Ces mesures ont été faites par le Laboratoire Central des Ponts & Chaussées (Département Bétons et Métaux). Les échantillons prélevés sont représentatifs du sol des ouvrages ; en particulier :

- a) ils ont été prélevés dans les mêmes zones d'emprunt, sans terre végétale,
- b) leur volume était assez grand pour comporter tous les grains constitutifs des sols (le poids de l'échantillon était compris entre 4 et 10 kg).
- c) les échantillons ont été transportés et stockés dans des conditions telles qu'il ne pouvait pas se produire de lessivage.

Pour chacun des paramètres physico-chimiques, nous préciserons le niveau acceptable selon les spécifications (2) pour le cas d'un ouvrage hors d'eau utilisant des armatures en acier, galvanisé ou non.

III - RESISTIVITE DU SOL SATURE

La résistivité est mesurée sur le sol saturé d'eau, déminéralisée ou distillée, après une heure d'attente nécessaire à la dissolution des sels. (figure 1) . Elle est exprimée en ohm centimètre (Ω cm). La valeur de la résistivité témoigne de la quantité globale de sels solubles présents dans le sol. Une faible résistivité, traduisant une quantité importante de sels, caractérise un sol agressif.

D'après les spécifications, la résistivité d'un sol utilisé en remblai pour la terre armée devra être supérieure à 1000 Ω cm.

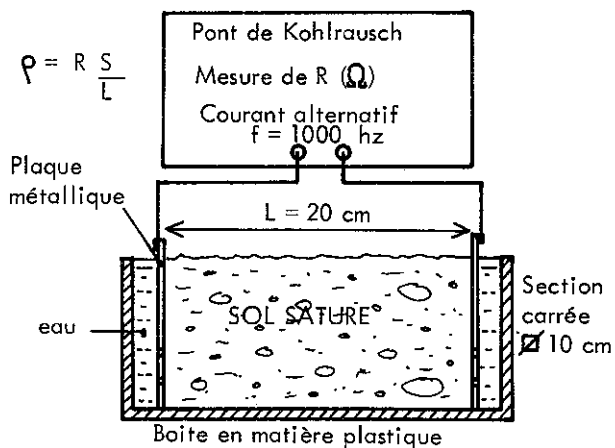


Figure 1: Mesure de la résistivité

La figure 2 représente l'histogramme des valeurs obtenues en adoptant une échelle logarithmique. On remarque que la distribution est très proche de la distribution théorique de Gauss. La moyenne (logarithmique) des valeurs mesurées se situe à 8740 Ω cm. Les 8 sols, représentant 3,4 % de l'ensemble d'une résistivité inférieure à 1000 Ω cm, sont soit des sols d'origine marine où une forte concentration en sels est responsable de la faible résistivité, soit des schistes miniers rouges comportant beaucoup de sulfates.

Nous avons également fait figurer, à titre de comparaison, l'histogramme des valeurs de résistivité fournies par l'analyse des 98 sols utilisés par ROMANOFF (3) pour son étude de la corrosion des métaux enterrés. On constate aisément la distorsion entre les deux distributions, la majorité des sols de ROMANOFF sont très éloignés de ceux utilisés en terre armée.

Nous précisons enfin que la résistivité des eaux potables varie entre 2000 et 2500 Ω cm et que celle de l'eau de mer est voisine de 20 Ω cm.

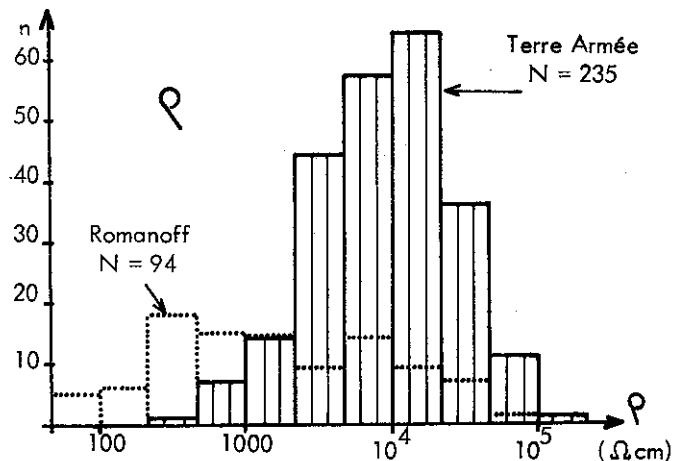


Figure 2 : Histogramme des valeurs de la résistivité

IV - POTENTIEL HYDROGENE OU pH

Le pH mesuré est celui de l'eau extraite du mélange 1 kg de sol - 1 kg d'eau maintenus en contact pendant 24 heures. Les produits de corrosion à la surface du métal ne peuvent être insolubles ou protecteurs que dans un certain domaine de pH.

Pour le zinc, l'expérience montre que le taux de corrosion reste faible dans un domaine de pH variant de 5 à 11. L'acier, quant à lui, se corrode peu lorsque le pH varie de 5 à 13. D'après les spécifications le pH d'un matériau convenant pour la terre armée doit être compris entre 5 et 10. La figure 3 présente la distribution des valeurs obtenues. Il apparaît que 98,2 % des sols vérifient le critère. L'ensemble des valeurs se concentre autour de la neutralité, la moyenne ressort à 7,26 .

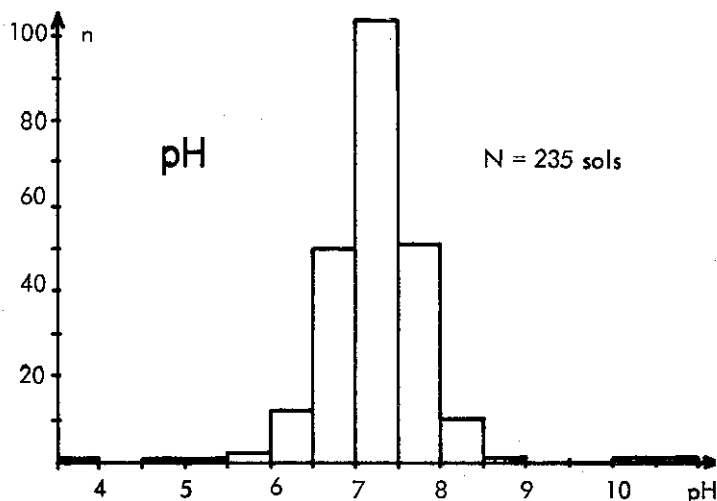


Figure 3 : Histogramme des valeurs de pH

V - TENEUR EN SELS AGRESSIFS

Les chlorures et dans une moindre mesure les sulfates sont agressifs. Leur teneur dans les sols est déterminée dans l'eau extraite du sol, comme indiqué ci-dessus, c'est-à-dire par mélange à poids égal d'eau et de sel et extraction à la température ambiante après 24 heures de contact.

5.1 Chlorures

L'ion chlore est un agent particulièrement actif dans la corrosion des métaux. D'après les spécifications sa teneur a été limitée à 200 ppm (200 mg par kg de sol). L'histogramme présenté à la figure 4 indique la distribution des valeurs obtenues, en adoptant une échelle logarithmique. Plus de 80 % des sols ne renferment pratiquement pas de chlorures (teneur inférieure à 10 ppm). Les sols de concentration en chlorure supérieure à 200 ppm ont tous une origine marine.

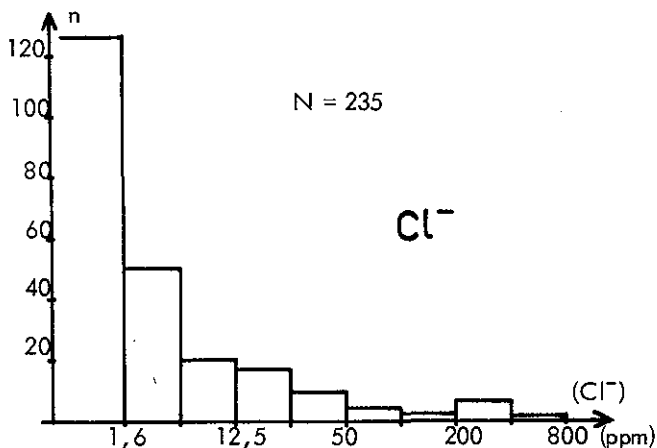


Figure 4 : Histogramme des teneurs en chlorures

5.2 Sulfates

L'ion sulfate est très fréquent dans les sols. Son agressivité est inférieure à celle de l'ion chlore. D'après les spécifications sa concentration est limitée à 1 gramme par kilogramme de sol (1000 ppm). Les fortes teneurs se trouvent principalement dans des sols tels que les schistes miniers rouges et certains terrains gypseux (le gypse étant un sulfate de calcium hydraté) .

La figure 5 indique que 97 % des sols étudiés ont une teneur en sulfates inférieure à 1000 ppm.

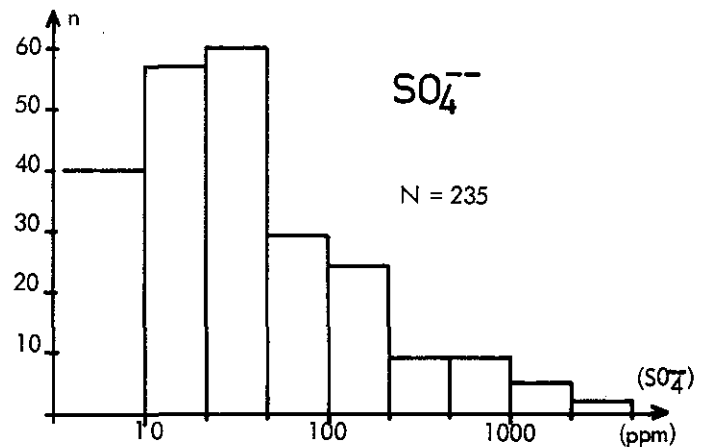


Figure 5 : Histogramme des teneurs en sulfates

VI - RELATION ENTRE LES CARACTERES PHYSIQUES ET LES CARACTERES PHYSICO-CHEMISQUES DES SOLS

Le choix des remblais est d'abord fondé sur des critères mécaniques. Il est intéressant d'examiner si les sols ayant les meilleures qualités mécaniques ont également de bonnes caractéristiques physico-chimiques.

D'après les résultats précédents, plus de 95 % des sols convenant par leurs caractéristiques mécaniques à l'utilisation en remblai dans la terre armée satisfont également aux quatre critères physico-chimiques.

De façon plus précise, on peut mettre en relation une caractéristique mécanique du sol (par exemple la taille des éléments du sol, relevée sur la courbe granulométrique, correspondant à un passant de 10 % et une caractéristique physico-chimique (la résistivité du sol saturé qui est la plus représentative de l'agressivité) .

La figure 6 présente, pour 50 sols d'origine naturelle et terrestre, la position des points expérimentaux.

Nous pouvons constater que tous les sols ayant au passant de 10 % des éléments d'une taille supérieure à 80 μ m présentent une résistivité supérieure à 5000 Ω cm, traduisant une faible agressivité.

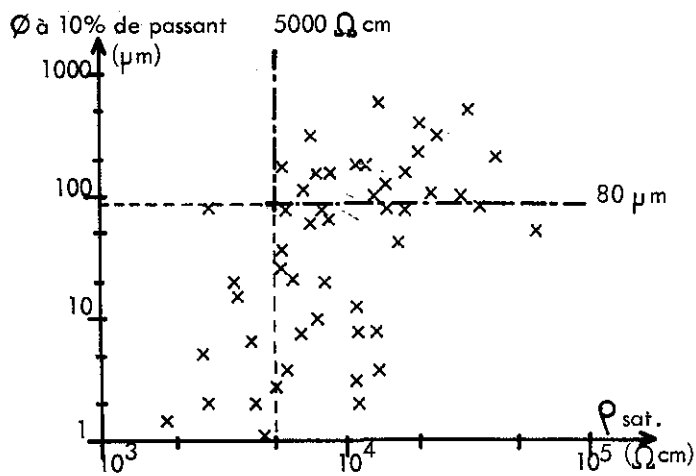


Figure 6 : Comparaison de caractéristiques mécaniques et physico-chimiques

BIBLIOGRAPHIE

1. JAILLOUX - MONTUELLE : "Application des techniques électrochimiques à la détermination de l'agressivité des sols " .
Article inclus dans le présent volume.
2. LCPC - SETRA " Ouvrages en Terre Armée " Guide - Spécifications et règles de l'art " à paraître en 1979
3. ROMANOFF " Underground corrosion " NBS Circular n° 579 - 1957