

IDENTIFICATION DES SOLS GONFLANTS DE LA VILLE DE TÉBESSA (ALGÉRIE)

Réception : 14/09/2022

Acceptation : 25/01/2023

Publication : 20/ 06/2023

DJELLALI Adel¹, HOUAM Abdelkader ²

¹Laboratoire de l'environnement, Institut des mines, Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi, Tébessa.
Email : adel.djellali@univ-tebessa.dz

²Laboratoire des mines, département de génie civil, Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi, Tébessa.
Email : abdelkader.houam@univ-tebessa.dz

Résumé - Les déformations des sols gonflants sont la cause majeure de nombreux dommages qui affectent les ouvrages de génie civil. Ces déformations sont étroitement liées aux conditions climatiques qui favorisent la variation de l'état hydrique des matériaux, traduit par l'expansion ou le retrait des sols. Ces phénomènes cycliques provoquent des contraintes parasites sur les infrastructures. Cet article s'intéresse particulièrement à l'identification des matériaux gonflants de la ville de Tébessa (Algérie), par l'utilisation de différentes approches disponibles dans la littérature. Ces méthodes sont basées sur les paramètres physico-chimiques. Les résultats d'identifications montrent que ces approches donnent souvent des indications contradictoires. C'est pourquoi l'adoption d'une démarche unifiée d'identification des sols gonflants est primordiale. Dans ce cadre, des recommandations techniques ont été adoptées. Si cette démarche est validée, elle aidera les ingénieurs à mieux identifier les sols gonflants sans confusion.

Mots - clés : Matériaux gonflants, Identification, Approches théoriques, Cartographie, Chaussées souples.

Abstract-The deformations of swellingsoils are the major cause of numerous damages affecting civil engineering structures. Thesedeformations are closelylinked to the climatic conditions which favorite the variation of the water state of the materials, reflected by the expansion or the shrinkage of the soils. Thesecyclicalphenomena cause stresses on the infrastructures. This paperisparticularlyinterested on the identification of swellingmaterials of city Tebessa (Algeria), by using the differentapprochesavailable in the literature. Thesemethods are based on physicochemicalparameters. The identification results show thattheseapproachesoftengivecontradictory indications. This iswhyadopting a unifiedapproach to identifyingswellingsubgradematerialsis essential. In thiscontext, technicalrecommendations have been adopted. If thisapproachisapproved, itwillbetter help engineers to identify the swellingsoilswithoutconfusing.

Keywords:Swellingmaterials, Identification, Theoreticalapproaches, Cartography, Flexible pavements.

1-Introduction

Les déformations des matériaux gonflants (couches argileuses) sont la cause majeure de nombreux dommages des structures et ouvrages de génie civil. Elles sont en relation avec les conditions climatiques accentuées par la variation de l'état hydrique des sols [1,2]. Ces phénomènes génèrent des contraintes parasites dans les structures et au niveau des fondations. Ces contraintes engendrent des dommages dans les bâtiments, autoroutes, pavages, pistes

d'aéroport et dans les structures légèrement chargées [3-5]. Dans le cas des chaussées souples, ces dégâts sont considérables soit en matière de construction « durée de vie très limitée », soit dans le coût d'entretien. Ces dégradations se manifestent par plusieurs déformations (fissures longitudinales ou transversales, nid de poule, etc.).

Plusieurs chercheurs ont développé des graphiques ou des tableaux récapitulatifs pour identifier et caractériser les sols expansifs afin

d'estimer leurs gonflements. La teneur en particules d'argile et les limites d'Atterberg ont été utilisées pour faire la distinction entre un sol expansif faible et un sol expansif élevé. Seed et al. [6] ont utilisé la fraction granulométrique de l'argile et les limites d'Atterberg ainsi que l'essai de gonflement pour faire la distinction entre un sol expansif faible et un sol expansif élevé. Ils ont créé un diagramme utile. Williams et Donalson [7] ont développé une recherche similaire. Meisina [8] et Musso [9] ont utilisé l'identification minéralogique avec la diffraction aux rayons X (XRD), la capacité d'échange de cations (CEC) associée à un essai de pression de gonflement. Yitagesu et al. [10] ont appliqué des techniques de télédétection associées aux paramètres du sol avec des spectres de réflectance. Djellali et al. [11] ont développé une formule qui estime la pression de gonflement à partir de la densité sèche, la teneur en eau et la limite plasticité.

Dans cet article, nous mettons en relief les contradictions que fournissent les différentes

approches directes et indirectes, c'est-à-dire sur la base des essais au laboratoire, et sur la base de différents auteurs, d'identification des sols gonflants sur les sols support de la ville de Tébessa (Algérie). D'où l'intérêt que revêtirait une unification des démarches d'identification en vue de faciliter la tâche à tous les intervenants dans le domaine du génie civil et travaux publics en établissant des cartes numériques sur la base de ces approches.

2- Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude est la ville de Tébessa qui se situe entre les longitudes $8^{\circ}0'43.99''$ E et $8^{\circ}9'43.55''$ E et les latitudes $35^{\circ}29'12.15''$ N et $35^{\circ}22'49.68''$ N à l'Est de l'Algérie. (Figure 1). Il s'agit d'un bassin d'effondrement entouré de montagnes d'altitude s'étalant entre 800 et 1600 m au-dessus de la mer. Elle est limitée au Nord par la commune de Boulhaf Dyr, au sud par El Ma Labiodh, à l'Est Bekkaria et El Kouifet à l'Ouest par les deux communes El Hammamet et Bir Mokadem.

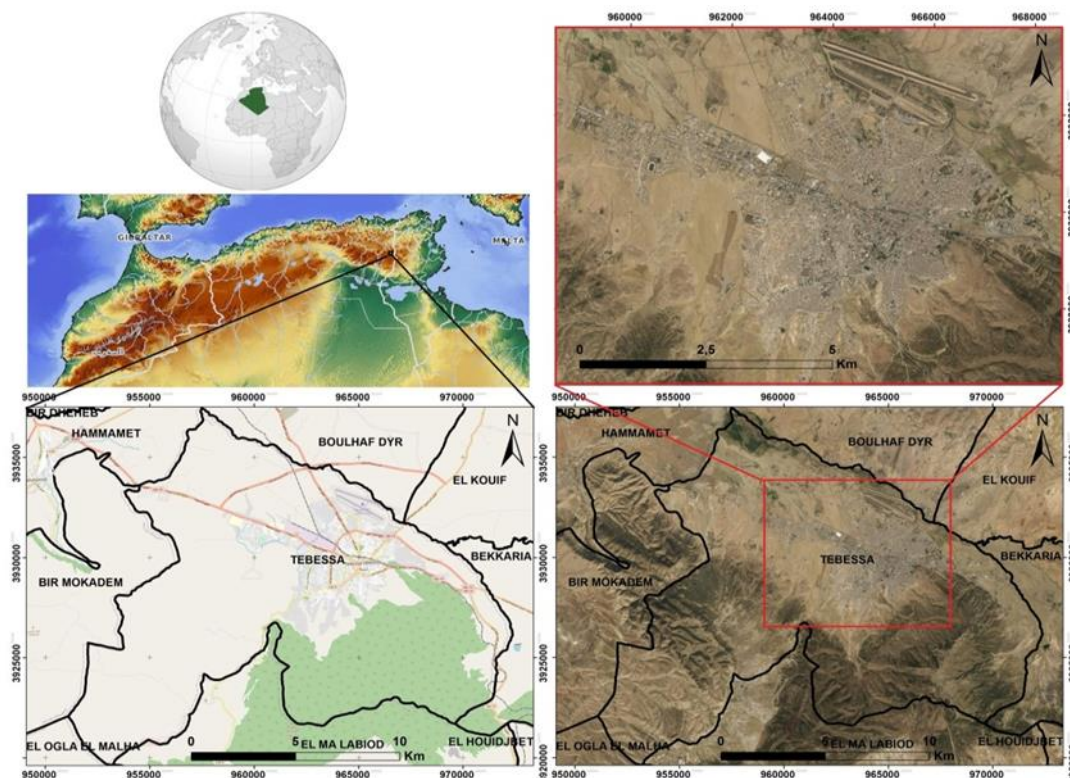


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude [12]

3- Matériels et Méthodes

Le problème de gonflement des sols et sa relation avec les propriétés géotechniques peuvent être étudiés par diverses approches. Dans ce travail de recherche, 40 échantillons ont été prélevés de la zone d'étude pour identifier les paramètres géotechniques du sol support et connaître la pression de gonflement pour bien redimensionner la structure des chaussées flexibles existantes. Des essais ont été effectués sur des échantillons non remaniés obtenus à l'aide d'une foreuse rotative par alimentation hydraulique à des profondeurs allant jusqu'à 6 m, et selon la norme BP X30-438 [13]. Les sondages ont été effectués le long de certaines sections des routes nationales de la ville (RN10, RN16 et RN82) pour avoir des informations sur la formation des terrains où la profondeur de la zone active variait de 1 et 5 m.

Les emplacements des forages ont été délibérément choisis autour des sections où la chaussée a subi plusieurs dégâts en raison de gonflement. Les échantillons ont révélé que les sols sont des marnes argileuses, des limons argileux, des argiles et des marnes.

4- Classification des sols sur la base des essais (approche directe)

Le guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme (GTR) [14] a été utilisé pour tester et classer les échantillons du sol support où les essais sont : fraction des particules inférieure de 0,080 mm ; teneur en eau ; densité sèche, limites Atterberg et valeurs au bleu de méthylène.

4.1- Selon la granularité

La granularité est la détermination des plus gros éléments contenus dans le sol. Ce paramètre est déterminant pour préjuger des ateliers de terrassements utilisables et notamment pour évaluer l'épaisseur des couches élémentaires et les conditions de malaxage éventuel avec un liant.

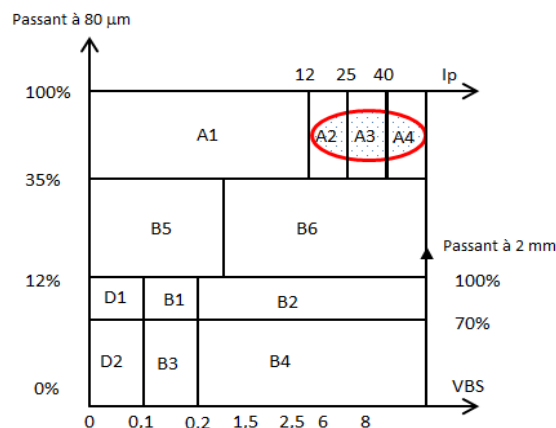


Figure 2 : Classification des matériaux selon leur nature [14]

Les résultats des analyses granulométriques montrent que la majorité des sols analysés disposent d'éléments de dimensions inférieurs à 80 µm. Selon la classification GTR, ces sols sont classés A2, A3 et A4, ce qui signifie que ce sont des argiles et des argiles marneuses, très cohérentes et presque imperméables à teneur en eau moyenne à faible. Ils collent ou glissent à l'état humide, d'où la difficulté de mise en œuvre sur chantier. Une augmentation de teneur en eau assez importante est nécessaire pour changer leur consistance. S'ils changent de teneur en eau, c'est extrêmement lentement et avec d'importants retraités ou gonflements.

4.2- Selon l'indice de plasticité IP

Pour générer des cartes de distribution spatiale, la méthode de krigeage a été employée sur la base de données géotechniques en utilisant un variogramme linéaire. La méthode d'estimation utilisée est basée sur un ensemble de points de valeurs proches où le programme de calcul Surfer a été utilisé pour récupérer des cartes de variables. Chaque point de données est pondéré par sa distance au nœud. Sur la base de cette méthode, les points éloignés du nœud auront moins de poids dans le nœud estimé. La valeur Z est calculée par [15] :

$$Z_A = \sum_{i=1}^n W_i Z_i \quad (1)$$

Où Z_A est la valeur calculée sur le nœud de la grille, n est le nombre de valeurs de données adjacentes, Z_i est la valeur à la position i avec le poids W_i . Les résultats des cartes de

distribution des paramètres géotechniques des sols support ont été cartographiés.

D’après les résultats des limites d’Atterberg, les indices de plasticités varient entre $14 < IP < 42$, et selon la norme NF P 94-051 [16], on est en présence d’une variante de matériaux dont la majorité des sols sont moyennement à très argileux (Figure 2).

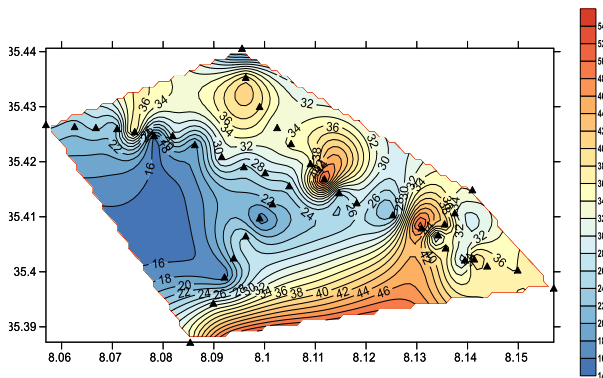


Figure 3 : Répartition de l’indice de plasticité IP sur la zone d’étude

4.3-Selon la valeur de bleu de méthylène

Les résultats au bleu de méthylène (VBS) varient entre $2 < VBS < 7.6$. Selon GTR 92 [14], on est en présence de limons argileux et d’argiles (Figure 4).

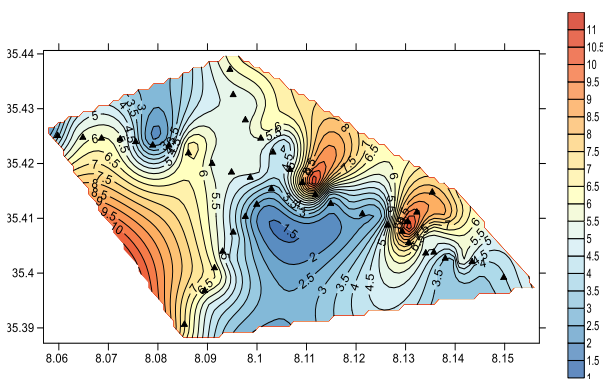


Figure 4 : Répartition de la valeur de bleu de méthylène VBS sur la zone d’étude

4.4-Selon la surface spécifique totale

La surface spécifique totale est la surface des grains solides sur laquelle le bleu de méthylène se fixe. Elle est donnée par :

$$S_{st} = 21VBS(m^2/g) \quad (2)$$

La surface spécifique totale laquelle varie entre $40 < S_{st} < 165$: on est en présence d’argiles de type Illites. Elle est représentée sur la figure 4. Ces matériaux montrent une moyenne capacité d’absorption et une moyenne à forte tendance au gonflement.

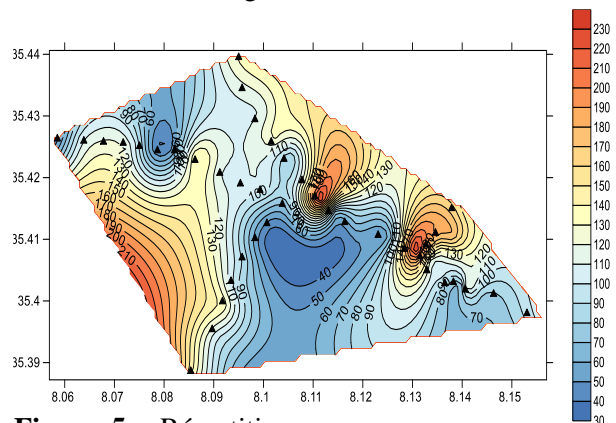


Figure 5 : Répartition de la valeur de bleu de méthylène VBS sur la zone d’étude

4.5-Selon l’état hydrique

On peut classer la région d’étude en un site légèrement humide ($8 < W\% < 29$) comme montré sur la figure 6. Ce taux d’humidité influe considérablement sur l’état de comportement des matériaux argileux, d’où les variations hydriques soudaines (précipitations intenses) favorisant le déclenchement du phénomène retrait-gonflement [16].

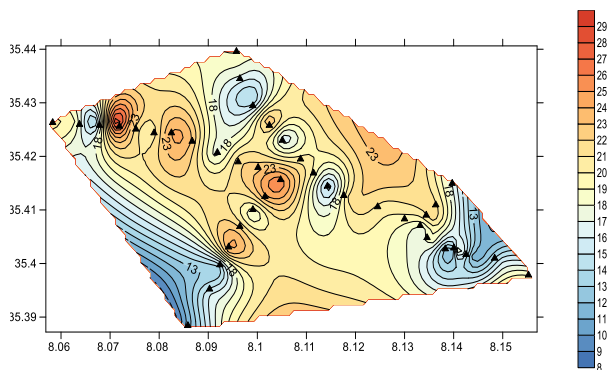


Figure 6 : Répartition de la teneur en eau sur la zone d’étude

4.6-Selon la pression de gonflement

La figure 7 représente la distribution de la pression de gonflement P_g du sol support de la zone d'étude. Les résultats sont obtenus par l'essai œdométrique à gonflement libre et selon la norme XP P 94-091. La pression varie entre $100 < P_g < 540$ kPa. D'après le tableau 1 le sol support a une pression de gonflement moyenne à forte.

Table 1: Mesure directe de gonflement [16]

Pression de gonflement P_g (kPa)	Type de gonflement
>1000	Très Fort
250-500	Fort
150-250	Moyen
50	Faible

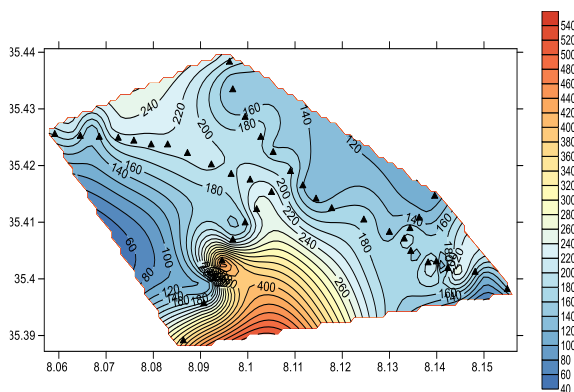


Figure 7 : Distribution de la pression de gonflement P_g sur la zone d'étude

5- Classification des sols selon les différents auteurs (approche indirecte)

5.1-Selon l'abaque de Casagrande

L'exploitation des résultats d'essais représentés sur l'abaque de Casagrande par un nuage de point (valeurs de limite de liquidité W_L et l'indice de plasticité IP) indique que ces sols sont des argiles moyennement plastiques à très plastiques et des limons organiques très plastiques (Figure 8).

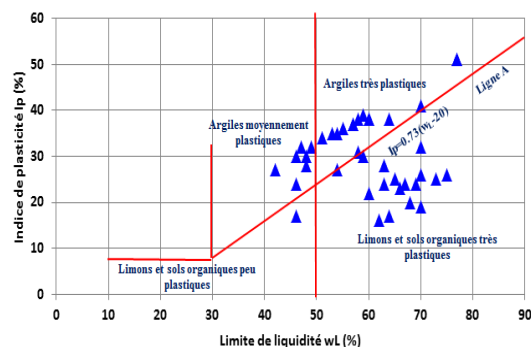


Figure 8 : Classification du sol à base de l'abaque de Casagrande

5.2-Classification selon Dakshanamurthy and et Raman

La classification de Dakshanamurthy and et Raman [18] permet de classer ces mêmes matériaux comme des argiles de gonflement intermédiaire à très élevé (Figure 9).

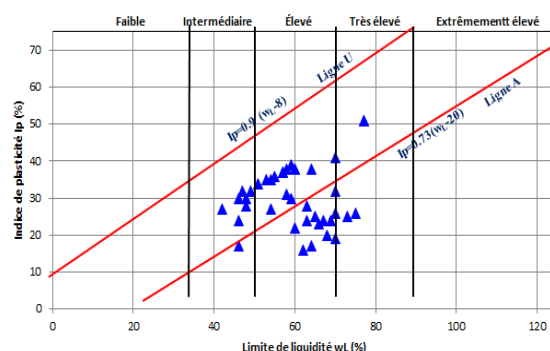


Figure 9 : Classification selon Dakshanamurthy and Raman [17]

5.3-Classification selon Chen

Chen [19] a proposé d'utiliser la limite de liquidité W_L pour quantifier le potentiel de gonflement des matériaux argileux. D'après cette classification, les matériaux du sol support ont un potentiel de gonflement moyen à très élevé ($34 > W_L > 63$).

6- Conclusion

Dans le but de l'identification des sols supports argileux de la ville de Tébessa (Algérie) par des différentes approches on peut conclure que la zone d'étude a les caractéristiques suivantes :

- tamisât à $80\mu\text{m} > 35\%$;
- indices de plasticités entre $14 < IP < 42$;
- des valeurs des bleus de méthylène entre $5.67 < VBS \leq 7.8$.

On constate que les matériaux du sol support sont de classe A2, A3 et A4 de nature argileuse, argilo-marneuse, marneuse et limoneuse très plastiques. Ces sols sont très cohérents à teneur en eau moyenne et à faible, collants ou glissants à l'état humide, d'où leurs difficultés de mise en œuvre sur chantier. Une augmentation de la teneur en eau assez importante est nécessaire pour changer leur consistance. L'abaque de plasticité de Casagrande montre que ces matériaux sont des argiles moyennement plastiques à très plastiques et des limons organiques à très plastiques. La classification de Dakshanamurthy et Raman indique que ces sols sont des argiles de gonflement intermédiaires à très élevés. La combinaison des différentes approches directes et indirectes et par le biais des cartes numériques, nous a permis de visualiser la distribution des paramètres géotechniques afin de faciliter la tâche pour les ingénieurs de localiser rapidement les zones gonflantes. Sur base de ces cartes, on peut visualiser et estimer les paramètres qu'ils soient physico-mécaniques ou chimiques à n'importe quel endroit et au voisinage des sondages et puits réalisés.

Références bibliographiques

- [1] Snethen, D.R., Townsend, F.C., Johnson, L.D, Patrick, D. M, Vedros, P. J.: Review of Engineering Experiences with Expansive soils in Highway Subgrades. US Army Engineer Water Ways Experiment Station, FHWA, 009751, USA (1975)
- [2] Djellali A, Ounis A, Saghafi B.: Behavior of Flexible Pavements on Expansive Soils. *Int J Transp Eng*, 1:1–16 (2013)
- [3] Djellali, A., Houam, A., Saghafi, B., Hamdane, A., Benghazi, Z.: Static Analysis of Flexible Pavements over Expansive Soils, *Int. J. Civ. Eng.*, vol. 15, no. 3 (2017)
- [4] Djellali, A., Laouar, MS., Saghafi, B., Houam, A.: Evaluation of Cement-Stabilized Mine Tailings as Pavement Foundation Materials. *Geotech Geol Eng*, 37 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10706-018-00796-8>
- [5] Djellali, A., Sarker, D., Saghafi, B.: Experimental and numerical prediction of airport pavement over expansive subgrade stabilized by asphalt layers. *Arab J Geosci*, 15:1–13 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10778-z>
- [6] Seed, HB., Woodward, RJ., Lundgren, R.: (Prediction of swelling potential for compacted clays. *J Soil Mech Found ASCE* 88(SB3):531962)
- [7] Williams AB., Donalson, GW.: Building on expansive soils in South Africa: 1973–1980. Paper presented at the fourth international conference of expansive soils. ASCE Denver, Colorado, 16–18 June (1980)
- [8] Meisina, C.: Predictions swelling/shrinkage potential using the blue methylene method: some samples in Italian clayey soils. In: Paper presented at the Geoen 2000 an international conference on

geotechnical and geological engineering. Melbourne, 19–24 Nov (2000)

[19] Chen, FH.: Foundations on expansive soils. American Elsevier Sci. Pub. Com, New York (1988).

[9] Musso, M.: Dissertation, University of São Paulo-Brasil (2001)

[10] Yitagesu, FA., van der Meer, F., van der Werff, H., Zigterman, W.: Quantifying engineering parameters of expansive soils from their reflectance spectra. Eng Geol 105:151–160 (2009). doi:10.1016/j.enggeo.2009.01.004

[11] Djellali, A., Houam, A., Saghafi, B.: Indirect Estimation of Swelling Pressure of Clayey Subgrade Under Pavement Structures,” Arab. J. Sci. Eng., vol. 42, no. 9 (2017)

[12] Djellali, A., Sarker, D., Benghazi, Z., Rais, K.: Geospatial-based approach for susceptibility assessment of expansive soils using a new multicriteria classification model. Arab J Geosci, 15:1–13 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12517-022-11024-2>

[13] AFNOR.: Déchets. Guide de bonnes pratiques pour les reconnaissances géologiques, hydrogéologiques et géotechniques de sites d’installation de stockage de déchets. Normalisation Française BP X 30-438 (2009)

[14] GTR 92. :Réalisation des remblais et des couches de forme. Principes généraux Guide technique. LCPC(2000).

[15] Golden software Homepage, <https://support.goldensoftware.com> , last accessed 11/11/2022)

[16] N FP 94- 051.: Détermination des limites d’Atterbeg (1994)

[17] Costet, J., Sanglerat, G.: Cours pratique de mécanique des sols, vol. 2 : calcul des ouvrages Dunod, Paris (1983)

[18] Dakshanamurthyand, V., Raman, V.: A simple method of identifying an expansive soil. (Soils and Foundations, Vol. 13, No 1, 97-104 (1973)