



## **EFFET DE LA NATURE DU SABLE SUR LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES D'UNE ARGILE**

MEZIANI Faroudja<sup>1</sup>, KAHIL Amar<sup>2</sup>, KHETTAOUI Cylia<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou, Faculté du Génie de la Construction, Département de Génie Civil, 15000.

---

### **RESUME**

La stabilisation des sols est l'une des principales activités des ingénieurs géotechniciens. Ce terme désigne un ensemble de procédés qui ont pour but d'améliorer la résistance des sols et/ou de limiter les déformations sous des ouvrages existants. L'utilisation du sable comme matériau stabilisant est une technique assez récente et son emploi n'est pas encore très répondu. Elle consiste à remplacer une partie du sol en question par de sable. Dans cette étude, deux types de sables de nature différente, sable de dune et sable de carrière ont été utilisés, à des pourcentages d'ajout de 4%, 6% et 8% dans le but d'étudier leurs effets sur la variation des caractéristiques physiques d'une argile. Les résultats obtenus montrent que, l'incorporation des sables réduit la plasticité de l'argile étudiée.

**Mots-clés :** Argile, sable, limites d'Atterberg, caractéristiques physiques.

---

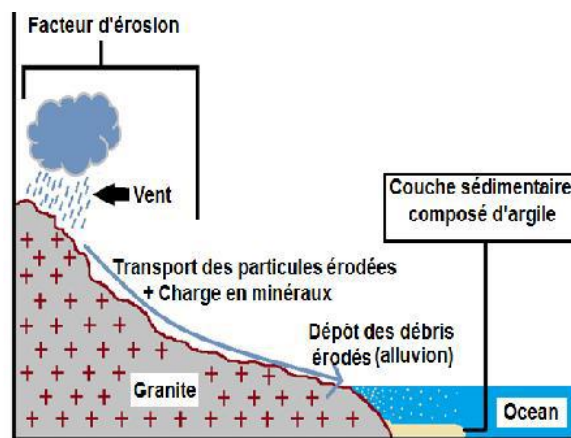
Author Correspondence, e-mail : mfaroudja@yahoo.fr

<https://www.asjp.cerist.dz/en/PresentationRevue/42>

## 1. INTRODUCTION

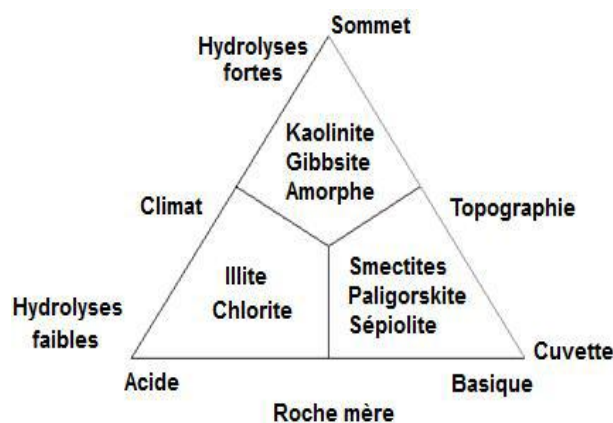
Les argiles sont des matières naturelles issues de la décomposition des roches mères, c'est-à-dire des parties superficielles de la croûte terrestre. Ces roches se décomposent et cristallisent pour donner une matière aux propriétés exceptionnelles [1], se forment partout où l'eau peut interagir à l'état liquide avec les minéraux silicatés [2]. En condition atmosphérique, les argiles se forment par l'altération des silicates lessivés par les eaux de surface (altérites), ou par interaction complexe entre silicates, eau et organismes vivant dans les sols [3].

Les reliefs qui forment la surface de la terre sont composés de différentes roches, pour certaines magmatiques (issues directement du magma) pour d'autres, métamorphiques (seconde cristallisation de sédiments ou de roches magmatiques) (figure 1).



**Fig.1.** Processus de formation de l'argile

En fonction des roches mères et du climat, les minéraux argileux résultants sont différents. En climat froid : l'altération est faible, les minéraux argileux sont identiques ou peu différents des minéraux de la roche (illite et chlorite), ils sont hérités de la roche d'origine [4]. Dans les climats chauds et humides, l'hydrolyse est poussée, la kaolinite se forme dans les environnements drainés, les smectites dans les environnements confinés (figure 2)[5].



**Fig.2.** Les différents types de phyllo-silicates

## 2. PROPRIÉTÉS DES ARGILES

Les argiles, en raison de leurs propriétés géotechniques sont considérées comme des sols instables [6], créant donc un inconvénient économique et technique pour les différentes parties impliquées dans ce domaine, se gonflent et deviennent plastiques en présence d'eau, se rétractent avec la sécheresse, et foisonnent sous l'effet du gel. Par conséquent, ces sols sont considérés comme pauvres ou pauvres et ne présentent donc pas les performances nécessaires pour résister aux charges [2].

À travers la géologie des terrains, des sols peu convenables présentant une plasticité élevée et une faible capacité de portance sont fréquemment rencontrés. Nous avons pris connaissance que les sols argileux sont à craindre, puisque de par leur structure minéralogique, ils sont évolutifs et sont souvent à l'origine d'importants dégâts aux bâtis, notamment au cours des périodes de sécheresse prolongée [3]. Il a été donc nécessaire d'améliorer ces sols pour les rendre acceptables pour la construction [7]. Ces limitations pourraient être surmontées par l'amélioration des propriétés géotechniques des sols en employant différentes méthodes.

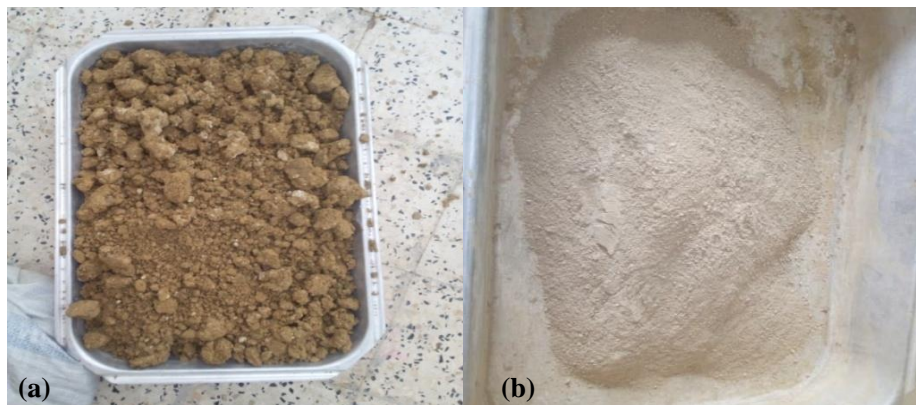
Le traitement par l'ajout de sable est couramment utilisé pour éviter le transport [1], pour mettre à niveau les matériaux locaux, et implique la stabilisation des sols à des coûts très attractifs [8].

## 3. PRÉSENTATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS

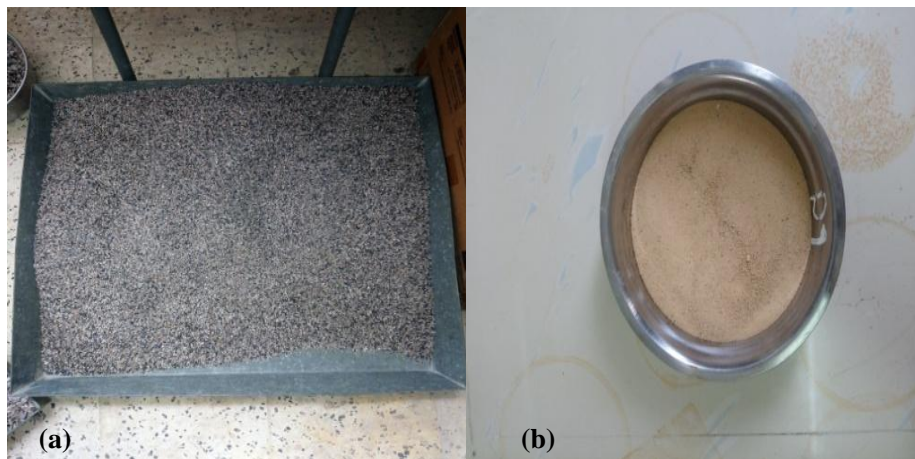
Quels que soient les objectifs recherchés dans une étude géotechnique, il est de règle d'effectuer initialement l'identification de sols concernés. Cette procédure permet d'orienter les analyses géotechniques ultérieures et surtout d'effectuer une classification des matériaux rencontrés.

### 3.1. Préparation des échantillons (argile et sable)

Le matériau est préparé de manière à ne pas modifier ses caractéristiques. Après prélèvement de l'argile, des échantillons ont été soumis au séchage dans une étuve à une température de 50°C, ensuite concassés et tamisés.



**Fig.3.** L'argile utilisée (a-Argile avant concassage; b-Argile après concassage et tamisage)

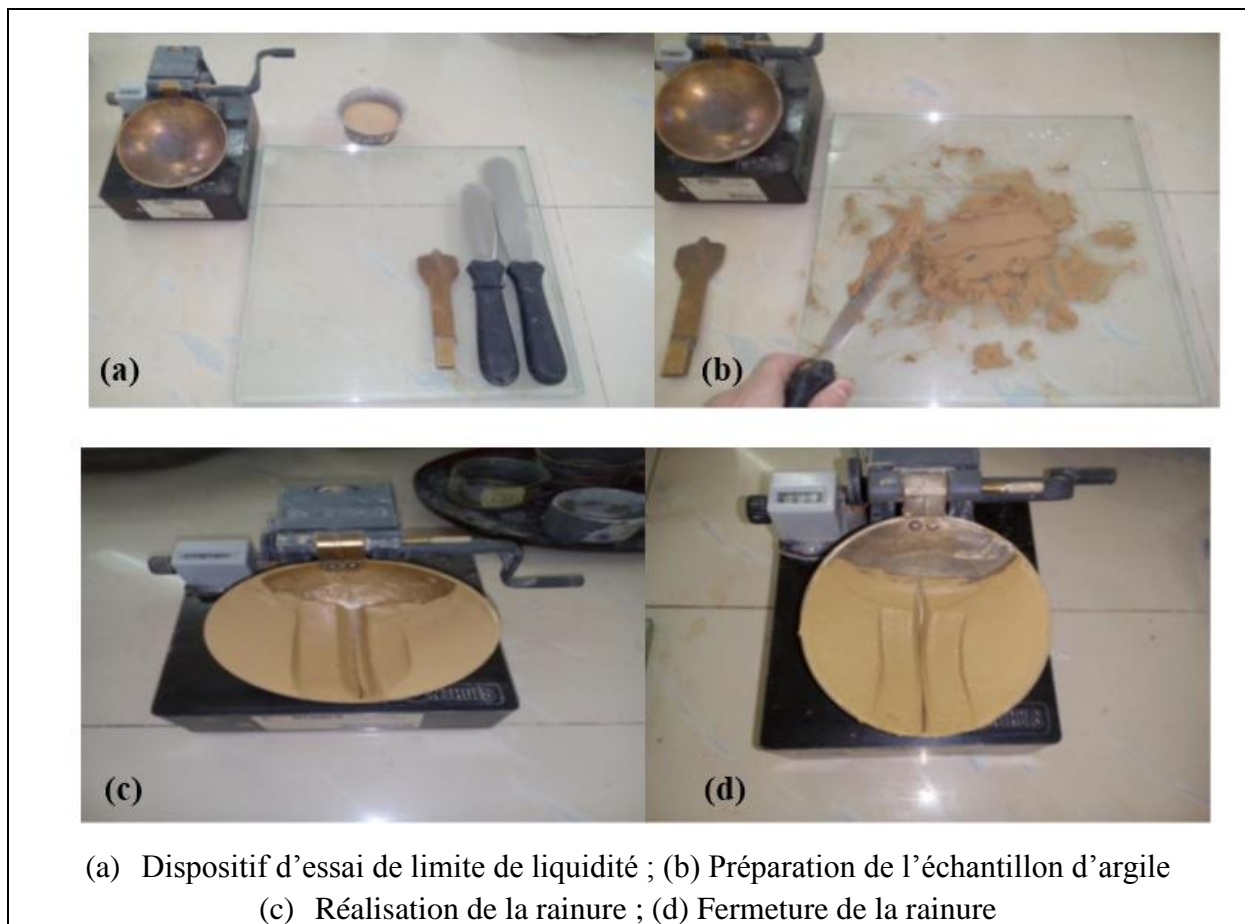


**Fig.4.** Types de sables utilisés (a-Sable de carrière, b-Sable de dunes)

### 3.2. Détermination des limites d'Atterberg

#### 3.2.1. La limite de liquidité ( $W_L$ ) (NF P94-051)

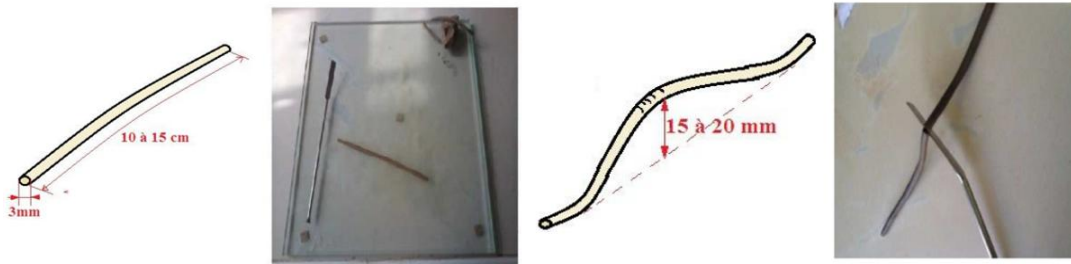
La limite de liquidité correspond à la teneur en eau qui caractérise le passage de l'état liquide à l'état plastique [9]. C'est la teneur en eau, qui correspond à la fermeture de 1cm des lèvres de la rainure après 25chocs, qui se détermine à l'aide de l'appareil de Casagrande.



**Fig.5.** Procédures de la détermination de la limite de liquidité

### 3.2.2. La limite de plasticité ( $W_p$ ) (NF 94-051)

Le matériau est roulé sous la forme d'un petit rouleau plein (ou boudin) d'environ 3 mm de diamètre. Ce boudin est progressivement asséché en frottant le matériau entre la plaque de marbre et un patin poreux (souvent en bois). Lorsque le rouleau n'est plus plastique, il devient alors cassant. L'essai est arrêté car la teneur en eau à ce moment correspond à la limite de plasticité.



**Fig.6.** Procédures de la détermination de la limite de plasticité.

### 3.3. Paramètres physiques d'identification

Du point de vue géotechnique, il est nécessaire de réaliser les essais préliminaires qui sont d'une importance principale. En plus de la détermination des paramètres physiques, ils permettent d'identifier les états de sol.

Les résultats des essais de laboratoire effectués sur différents échantillons utilisés [9-12] (argile et sables), sont présentés dans les tableaux 1 et 2.

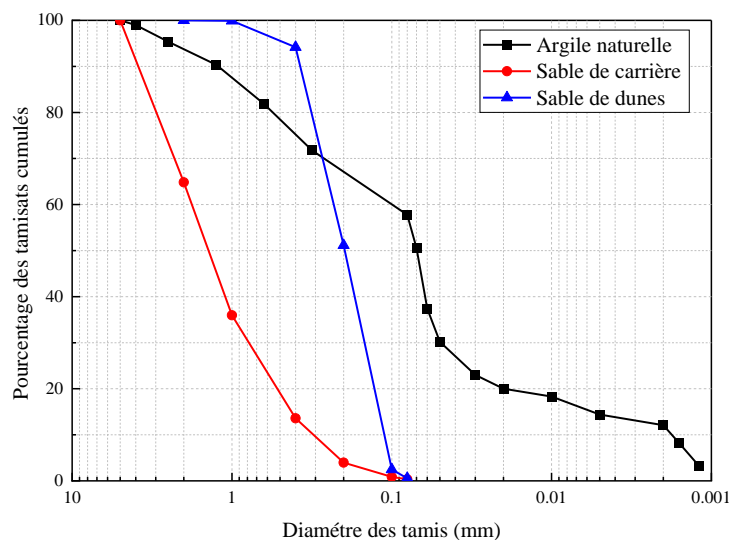
**Tableau 1.** Paramètres d'identification de l'argile étudiée

Paramètres	Valeurs
Teneur en eau de l'argile (%)	23.11
Masse volumique des particules solides $\rho_s$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.59
Masse volumique sèche $\rho_d$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.85
Masse volumique apparente $\rho_h$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.45
Masse volumique humide $\rho_h$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.16
Limite de liquidité $W_L$ (%)	41.00
Limite de plasticité $W_p$ (%)	26.12
Indice de plasticité $I_p$ (%)	14.88
Tamisât à 80 $\mu\text{m}$ de l'argile(%)	57.77
Valeur au bleu de méthylène (VBS)	7.10

**Tableau 2.** Paramètres d'identification des sables utilisés

Sables	Paramètres	Valeurs
Carrière	Teneur en eau (%)	6.14
	Tamisât à 80 $\mu\text{m}$ (%)	0.32
	Valeur d'équivalent (%)	97.0
	Coefficient de courbure $C_c$	1.19
	Coefficient d'uniformité $C_u$	6.00
Dunes	Teneur en eau (%)	6.74
	Tamisât à 80 $\mu\text{m}$ (%)	0.56
	Valeur d'équivalent (%)	59.63
	Coefficient d'uniformité $C_u$	1.83
	Coefficient de courbure $C_c$	0.85

L'analyse granulométrique de l'argile et les deux sables utilisés dans notre étude [13], est représentée dans la figure 7, suivante.



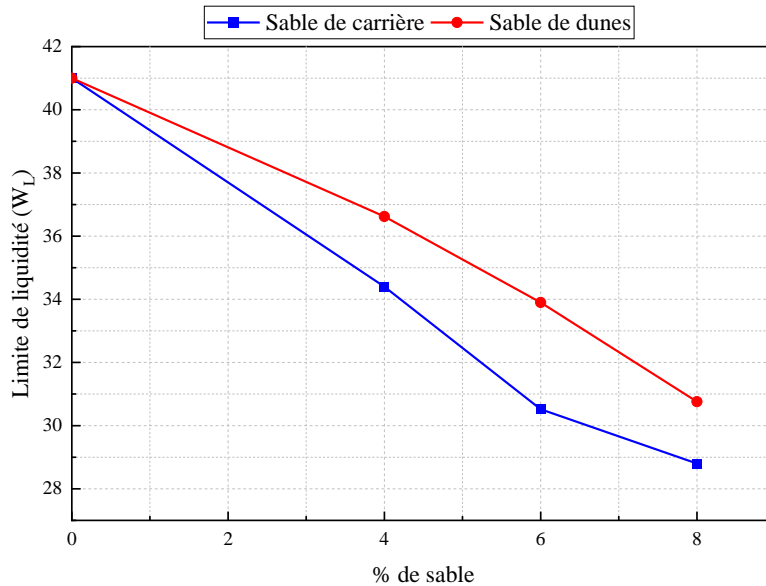
**Fig.7.** Courbes granulométriques de l'argile et des sables utilisés

#### 4. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

Les figures 8, 9 et 10, montrent la variation des caractéristiques physiques (limites d'Atterberg) de l'argile étudiée, en fonction de la nature du sable (carrière et dunes) et du pourcentage d'ajout.

##### 4.1. Variation de la limite de liquidité de l'argile étudiée

La figure 8 montre la variation de la limite de liquidité de l'argile, en fonction de la nature et du pourcentage du sable ajouté.



**Fig.8.** Variation de la limite de liquidité en fonction du pourcentage d'ajout

D'après la figure 8, on constate que les limites de liquidité de l'argile utilisée dans notre étude, sont influencées par la nature différente et les différents pourcentages des sables utilisés.

La valeur de la limite de liquidité de l'argile à l'état naturel est de 41%. L'ajout de 4%, 6% et 8% de sable de dunes ou de carrière permet de diminuer la limite de liquidité de l'argile étudiée.

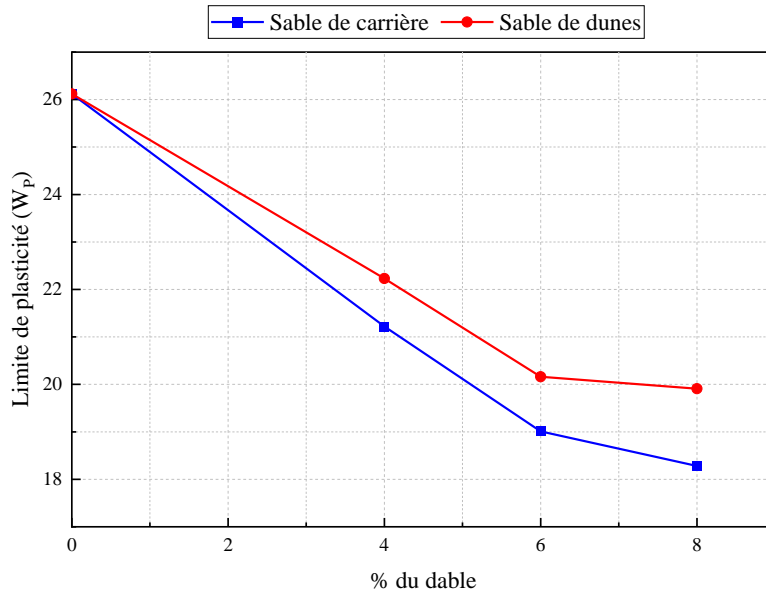
L'effet d'ajout de 4%, 6% et 8% du sable de dunes se traduit par une diminution de la valeur de la limite de liquidité de 36.62%, 33.9% et 30.76% respectivement.

La valeur de la limite de liquidité obtenue par ajout de 4% du sable de carrière est de 34.40 %. L'ajout de 6% et 8% d'ajout, les valeurs des limites de liquidité obtenues après essais sont respectivement égales à 30.52 % et 28.80%.

La réduction de la limite de liquidité s'explique par la diminution du nombre de liaisons entre les particules argileuses et les molécules d'eau, par la diminution de la surface spécifique totale, mais aussi par la réduction des teneurs en eau dans les mélanges. Il s'agit aussi de la diminution de la surface spécifique d'adsorption d'eau et la réduction du nombre de liaisons entre les particules argileuses qui contribuent à la réduction de cette limite de liquidité.

#### **4.2. Variation de la limite de plasticité de l'argile étudiée**

La figure 9, présente la variation de la limite de liquidité de l'argile, en fonction de la nature et du pourcentage du sable ajouté.



**Fig.9.** Variation de la limite de plasticité en fonction du pourcentage d'ajout

D'après les résultats obtenus selon la figure 9, on remarque une diminution des limites de plasticité avec l'augmentation de la proportion du sable ajouté (carrière ou dunes), selon différents pourcentages.

La limite de plasticité de l'argile étudiée, à l'état naturel est, de 26.12% par rapport au sable de dunes, la valeur de la limite de plasticité avec ajout de 4% est, de 22.23 %. Cette limite se diminue pour atteindre les valeurs de 20.16% et 19.91% à 6% et 8% respectivement.

De même, les résultats montrent une diminution des limites de plasticité avec l'augmentation de la proportion du sable de carrière dans les mélanges étudiés.

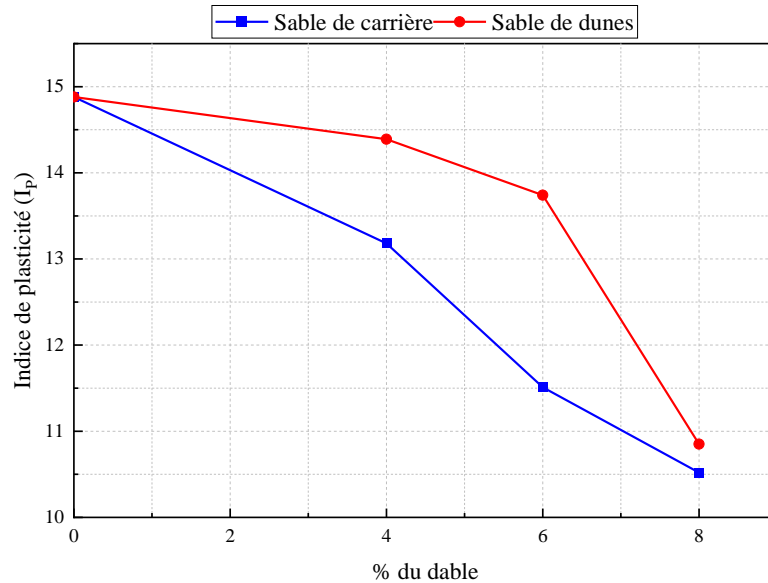
Le sable de carrière a une influence sur la limite de plasticité, comparativement à l'état naturel. Des réductions de 21.22%, 19.01% et 18.28% pour des pourcentages d'ajout de 4%, 6% et 8%, respectivement.

La diminution de la limite de la plasticité avec la teneur en sable ajouté, due à la diminution de la teneur en éléments fins actifs et à l'augmentation de la quantité du matériau inerte. Elle confirme aussi le changement de comportement du matériau à très fortes teneurs en sable.

#### 4.3. Variation de l'indice de plasticité de l'argile étudiée

La figure 10, montre la variation de la limite de liquidité de l'argile, en fonction de la nature et du pourcentage du sable ajouté.





**Fig.10.** Variation de l'indice de plasticité en fonction du pourcentage d'ajout

Les résultats montrent aussi des diminutions au niveau de l'indice de plasticité avec la proportion du sable ajouté. L'argile sans traitement possède un indice de plasticité  $I_P = 14.88\%$ , l'ajout de (4%,6%,8%) du sable de dunes produit des diminutions de l'indice de plasticité qui sont respectivement (14.39%,13.74%, 10.85%).

Les résultats montrent aussi des diminutions au niveau de l'indice de plasticité avec la proportion du sable ajouté. L'argile sans traitement possède un indice de plasticité  $I_P = 14.88\%$ , l'ajout de (4%, 6%, 8%) du sable de carrière produit des diminutions significatives de l'indice de plasticité qui sont respectivement ( $I_P = 13.18\%$ ,  $I_P = 11.51\%$ ,  $I_P = 10.52\%$ ).

La diminution de l'indice de plasticité, est due à la diminution simultanée des limites de liquidité et de plasticité. Cette réduction est due au changement du comportement du mélange qui passe d'un sol de type argileux à un sol de type argilo-sableux.

Cette diminution de l'indice de plasticité engendre la réduction de l'étendue du domaine plastique, ce qui confirme le passage d'un matériau très plastique vers un matériau moins plastique et moins gonflant par conséquent.

## 5. CONCLUSION

Cette étude a pour objectif, d'étudier l'influence de la nature du sable utilisé selon différents pourcentages d'ajout, sur les caractéristiques physiques d'une argile.

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que l'ajout du sable améliore les caractéristiques physiques de l'argile traitée. La variation des limites d'Atterberg se traduit par une diminution de la limite de liquidité, une diminution de la limite de plasticité, et par conséquent, une réduction de l'indice de plasticité. La réduction de l'indice de plasticité indique une amélioration dans la maniabilité de l'argile.

Selon la nature du sable utilisé, on constate une réduction des limites d'Atterberg plus forte au

niveau du sable de carrière que le sable de dunes, car le sable de carrière contient moins de particules fines par rapport au sable de dunes. Ainsi la granulométrie de sable joue un rôle très important dans l'amélioration des limites d'Atterberg, le sable de dunes se caractérise par une forme de grains arrondie contrairement au sable de carrière qui présente des grains anguleux.

## 6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Y. Zhang, J. Li, C. Zhang, The Mechanical Properties and Microstructure of Reticulated Red Clay-Sand Mixture Using X-Ray Diffraction, in: Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, 2021, pp. 022081.
- [2] K. BELAÏDI, B. MEKERTA, M.A. ALLAL, Caractérisation physico-chimique et mécanique des argiles de la région d'Adrar et de Timimoun en vue d'une utilisation dans les centres de stockages des déchets.
- [3] A. D'Elia, D. Pinto, G. Eramo, L. Giannossa, G. Ventruti, R. Laviano, Effects of processing on the mineralogy and solubility of carbonate-rich clays for alkaline activation purpose: mechanical, thermal activation in red/ox atmosphere and their combination, Applied Clay Science, 152 (2018) 9-21.
- [4] A. Bergère, F. Ropers, Les Argiles Plastiques de l'Yprésien et leur comportement capricieux, Compte Rendus des Journées nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, Marne la Vallée, (2018).
- [5] A. CHERIF, M. BENYOUCEF, B. FERRÉ, M. BENHAMOU, Etude sédimentologique et ichnologique de la Formation des Argiles de Saïda (Jurassique supérieur) dans les monts de Freneda (Algérie nord-occidentale), Revue de Paléobiologie, 37(1) (2018) 121-135.
- [6] M.E.-S.A.R. Ouf, Stabilisation of clay subgrade soils using ground granulated blastfurnace slag, University of Leeds, 2001.
- [7] A.F. Cabalar, W.S. Mustafa, Fall cone tests on clay-sand mixtures, Engineering Geology, 192 (2015) 154-165.
- [8] A. Cabalar, O. Zardikawi, M. Abdulnafaa, Utilisation of construction and demolition materials with clay for road pavement subgrade, Road Materials and Pavement Design, 20(3) (2019) 702-714.
- [9] N. AFNOR, P94-051-Sols: reconnaissance et essais; Détermination des limites d'Atterberg—Limite de liquidité à la coupelle—Limite de plasticité au rouleau, in: Association Française de Normalisation, Paris, France, 1993.
- [10] P. NF, 94-054, Sols: reconnaissances et essais, Détermination de la masse volumique des particules solides des sols, Méthode du pycnomètre à eau, in: Association Française de Normalisation, France (in French), 1991.
- [11] P. NF, 94-054, Sols: reconnaissances et essais, Détermination de la masse volumique des particules solides des sols, Méthode du pycnomètre à eau, Association Française de Normalisation, France (in French), (1991).
- [12] P. NF, 94-050, 'Sols reconnaissance et essais'—determination of the water content of the materials—steaming method. AFNOR, (1995).
- [13] P. NF, 94-057-Analyse granulométrique des sols—Méthode par sédimentation, in: Norme Française, AFNOR, Paris, 1992.