

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
Scientifique
Université de Jijel



***FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT / DE GENIE CIVIL***

Projet de fin d'étude
Présenté en vue d'obtention du diplôme
Master académique
Filière: Génie Civil
Option : géotechnique
Thème

Etude comparative de l'influence du type d'eau sur les propriétés physiques et mécaniques des sols argileux

Présenter par :

SABA RIMA

BELATRECHE WAFA

Proposé par :

BOUMEHRAZ Mohammed-Amin

Année universitaire 2018/2019

Remerciement

Avant tout, Dieu merci de nous avoir donné la volonté, la patience et le courage pour accomplir ce modeste travail

*Nous tenons à formuler notre gratitude et nos profonds remerciements à notre encadreur **Mr' Boumehraz Mohammed-Amin***

*Nous remercier les ingénieures au **ltpe** et **Souad hank** la responsable au laboratoire **MDS** qui a été toujours disponible avec nous*

Nos remerciements vont aux membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

Que l'ensemble des enseignant qui ont contribué par leur compétence a notre formation.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés de loin ou de près.

A tous, un grand merci

Belatrèche et Saba

Merci



Dédicace

*Tout d'abord je remercie mon dieu qui ma donné
la force, le courage et la patience pour réaliser ce modeste travail.*

J'adresse mes remerciements par un grand respect et gratitude

A mes très chers parents "Sabah, Abdenour "

qui sont la lumière de ma vie,

pour que je sois heureuse, pour leurs conseils,

leur affection et leurs encouragements.

Et je le dédie :

A mes très chères frères Oussama, Achraf et Diaaeddine;

A mes très chères sœurs Wiam et Raniya ;

A mon très chère homme " mon mari A. Boulemali"

A mes chers amis chacune par son nom ;

ainsi qu'à tous ceux qui me connaissent ; qui ma aidé et qui sont

toujours présent à mes côtés, avec qui j'ai partagé le bon et le

mauvais,

Ma collègue Rima et toute sa famille

Wafa



Dédicace

Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur qu'on dédie du fond du cœur à ceux qu'on aime et qu'on remercie en exprimant la gratitude et la reconnaissance durant toute notre existence.

*J'ai le grand plaisir de dédier le fruit de mes efforts A :
L'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui sacrifié pour me voir réussir :*

Mon père « abdelkerim »

La lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur :

Ma mère « yamina »

Mes chères sœurs

Mes chères frères et toute ma famille

Mes chères amies

Chacun a son nom

Ma collègue Wafa et toute sa famille.

Rima

Notations

- **GTR**: Guide technique des Terrassements Routiers, Réalisation des remblais et des couches de forme
- **LCPC**: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées ;
- **T_{MAX}** : température maximale ;
- **T_{MOY}** : température moyenne ;
- **T_{MIN}** : température minimale ;
- **ρ_s** : La masse volumique ;
- **VBS**: Valeur du bleu méthylène ;
- **C_u**: coefficient d'uniformité ;
- **C_c**: coefficient de courbure ;
- **D**: Dimension maximale pour laquelle le passant est compris entre 80 et 99% ;
- **D_{max}** : Diamètre maximal des grains (mm)
- **WL** : la limite de liquidité ;
- **WP** : la limite de plasticité ;
- **IP** : Indice de plasticité ;
- **W_{opt}** : Teneur en eau à l'optimum Proctor ;
- **$\gamma_{d\ opt}$** : la densité volumique sèche optimum Proctor ;
- **C** : La cohésion ;
- **ϕ** : l'angle de frottement ;
- **C_g** : Indice de gonflement déterminé à l'oedomètre ;
- **C_c** : Indice de compression déterminé à l'oedomètre;
- **e** : Indice des vides déterminé à l'oedomètre;
- **σ'_p** : Pression de préconsolidation déterminée à l'oedomètre

Résumé:

Ce projet de fin d'étude a pour objet d'étudier l'effet des deux type d'eau (eau potable et eau de mer) sur les propriétés physiques et mécaniques des trois types des sols argileux (schiste, marne, argile peu plastique). Notre travail expérimental consiste à réaliser les essais suivants: essai des limites d'Atterberg, essai Proctor, essai de cisaillement rectiligne à la boîte de Casagrande, et essai oedométrique. Ces derniers ont pour objet de la détermination de l'évolution des paramètres de oedometre (Cc, Cg), et paramètres de cisaillement (c, ϕ), la limite de liquidité et de plasticité, et la teneur en eau optimal. D'après cette étude, nous avons conclu que l'addition de l'eau de mer dans un sol argileux provoque: une augmentation de la limite de liquidité et une réduction de la limite de plasticité; une diminution de la teneur en eau optimum et une augmentation de la densité volumique sèche, et une augmentation de l'angle de frottement et une réduction de la cohésion contrairement à l'eau potable.

Mots clés: eau de mer, eau potable, marne, schiste, argile, Proctor

Abstract:

The end-of-study project aims to study the effect of both types of water (drinking water and seawater) on the physical and mechanical properties of the three types of clay soils (shale, marl, little plastic clay). Our experimental work consists in carrying out the following tests: Atterberg limits test, Proctor test, shear test at Casagrande box, and oedometric test. These are for the determination of the evolution of the oedometer parameters (Cc, Cg), and shear parameters (c, ϕ), the limit of liquidity and plasticity, and the optimal water content. Based on this study, we concluded that the addition of seawater in clay soil causes: an increase in the liquid limit and a reduction in the plastic limit; a reduction in the optimum water content and an increase in the dry density, and an increase in the angle of friction and a reduction in the cohesion unlike the drinking water.

Key words: seawater, drinking water, marl, shale, clay, Proctor.

ملخص :

يهدف مشروع نهاية الدراسة إلى دراسة تأثير كلا النوعين من الماء (مياه الشرب ومياه البحر) على الخواص الفيزيائية والميكانيكية لأنواع التربة الطينية الثلاثة (schiste, marne, argile peu plastique). يتمثل عملنا التجريبي في إجراء الاختبارات التالية: اختبار حدود Atterberg ، اختبار Proctor ، اختبار القص المستقيم في صندوق Casagrande ، واختبار قياس الطول ، وهي لتحديد تطور معالم مقياس السعة (Cc ، Cg) ، ومعلمات القص (c ، ϕ) ، والحد من السيولة واللدونة ، والمحتوى المائي الأمثل. بناءً على هذه الدراسة ، خلصنا إلى أن إضافة مياه البحر في التربة الطينية تسبب: زيادة في حد السائل وتقليل حد البلاستيك ؛ انخفاض في محتوى الماء الأمثل وزيادة في الكثافة الجافة ، وزيادة في زاوية الاحتكاك وانخفاض في التماسك على عكس مياه الشرب.

الكلمات المفتاحية: مياه البحر ، مياه الشرب ، schiste ، marne ، الطين ، proctor.

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Notation	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale	01

Chapitre 1 : Présentation de la région de Jijel

I.1. Introduction	03
I.2. Situation géographique	03
I.3. Reliefs	04
I.4. Contexte géologique	05
I.4.1. Localisation structurale de la région de Jijel	05
I.4.2. Les grands ensembles métamorphiques.....	05
I.4.3. La dorsale kabyle ou "chaîne calcaire".....	06
I.5. Contexte géomorphologique.....	07
I.5.1. Les éléments du relief	07
I.5.2. Les pentes.....	08
I.6. Climat de la zone d'étude	09
I.6.1. Température	09
I.6.2. Précipitations	10
I.6.3. Le vent.....	11
I.6.4. Humidité relative	12
I.6.5. L'évaporation	13
I.7. Hydrologie	13
I.8. Hydrogéologie de la région d'étude	14
Conclusion	15

Chapitre 2 : Les sols argileux

II.1. Rappel sur les sols argileux	16
II.1.1. Introduction.....	16
II.1.2. Structure d'une argile	16
II.1.3. Texture d'une argile	17

II.1.4. Les principaux types d'argiles.....	17
II.1.4.1. Classification selon la structure chimique.....	17
a) Kaolinite.....	17
b) Bentonites.....	17
c) Illites.....	18
d) Vermiculites.....	18
e) Chlorites.....	18
f) Minéraux argileux inter-stratifiés.....	18
II.1.4.2. Classification selon la couleur.....	19
II.1.5. Porosité et distribution de taille de pores.....	19
II.1.6. Distribution de taille des pores.....	19
II.1.7. Nature minéralogique des argiles.....	19
II.1.8. Composition chimique.....	21
II.1.9. Carbone organique.....	22
II.1.10. Taux d'argile.....	23
II.2. Propriété hydraulique du sol.....	24
II.2.1. Teneur et potentiel de l'eau.....	24
II.2.1. Rétention de l'eau dans le sol.....	25
II.2.1. Evolution géochimique de l'eau interstitielle.....	26
II.3. Sols argileux gonflants.....	27
II.3.1. Adsorption-désorption.....	27
II.3.1.1. Définition de l'adsorption.....	27
II.3.1.2. Propriétés de l'adsorbant.....	28
II.3.1.3. Types d'adsorption.....	28
a) Physisorption (adsorption physique).....	28

b) Chimisorption (adsorption chimique).....	29
c) Comparaison entre les deux types d'adsorption.....	29
II.3.2. Humidification et gonflement.....	30
II.4. Propriétés des eaux de mer.....	32
II.4.1.Eau de mer.....	32
II.4.2.Composition chimique.....	32
II.4.3.Effet de l'eau de mer sur les sols.....	33
Conclusion.....	37

Chapitre III: Etude expérimentale

III.1.Introduction.....	38
III.2.Matériaux utilisées.....	38
III.2.1. Sols argileux.....	38
III.2.2. Eau potable.....	39
III.2.3. Eau de mer.....	39
III.3. Essais d'identification des sols utilisés.....	40
III.3.1.Teneur en eau de sol (NFP94- 050).....	40
III.3.1.1 Définition.....	40
III.3.1.2 Principe de l'essai.....	40
III.3.1.3 Appareillage utilisée.....	41
III.3.1.4 Mode opératoire.....	41
III.3.2. Détermination de la masse volumique (NF P94-053).....	42
III.3.2.1 Définition de la masse volumique absolue.....	42

III.3.2.2 Appareillage utilisé.....	42
III.3.2.3 Méthode opératoire.....	42
III.3.3.Essai au bleu de méthylène (méthode à la tache) (P 18- 592).....	43
III.3.3.1 But de l’essai.....	43
III.3.3.2 Principe de l’essai.....	44
III.3.3.3 Matériels utilisés.....	44
III.3.4. Analyse granulométrique.....	45
III.3.4.1. Analyse granulométrique par tamisage (NF P 94-056).....	45
III.3.4.1.1 Principe de l’essai.....	45
III.3.4.1.2 Appareillage.....	46
III.3.4.1.3 Résultats et interprétations.....	46
III.3.4.2. Essai granulométrique par sédimentation (NF P 94-057).....	48
III.3.4.2.1 Principe de l’essai.....	48
III.3.4.2.2 Appareillage.....	48
III.3.4.2.3 Mode opératoire	49
III.3.4.2.4 Expression et des résultats.....	50
III.3.5 La limite d’Atterberg (NF P 94-051).....	54
III.3.5.1 Définitions.....	54
III.3.5.2 But de l’essai.....	55
III.3.5.3 Matériels utilisés.....	55
III.3.5.4 Mode opératoire.....	56
III.3.6 Proctor normal (NF P 94-093).....	57
III.3.6.1 Définition.....	57

III.3.6.2 But de l'essai.....	57
III.3.6.3.Principe de l'essai.....	58
III.3.6.4.Matériel nécessaire.....	58
III.3.6.5.Mode opératoire.....	58
III.3.7.Essai de cisaillement direct à la boîte (NF P94-071-1).....	59
III.3.7.1.Définition.....	59
III.3.7.2.Principe de l'essai	59
III.3.7.3.Appareillages.....	60
III.3.7.4.Mode opératoire.....	61
III.3.8. Essai oedométrique (NP P 94-091).....	61
III.3.8.1. But de l'essai.....	61
III.3.8.2. Principe de l'essai.....	61
III.3.8.3. Appareillage utilisé.....	62
III.3.8.4. Mode opératoire.....	62
Conclusion.....	64

Chapitre IV: Résultats et interprétations

IV.1. Introduction.....	65
IV.2. Résultats de l'essai des limites d'Atterberg.....	65
IV.2.1. Essai sur la Marne.....	65
a) L'essai par l'eau potable.....	66
b) L'essai par l'eau de mer.....	66

IV.2.2.Essai sur le schiste.....	66
a) L'essai par l'eau potable.....	67
b) L'essai par l'eau de mer.....	67
IV.2.3.Essai sur l'argile (peu plastique).....	67
a) L'essai par l'eau potable.....	67
b) L'essai par l'eau de mer.....	68
IV.2.4.Récapitulatifs des résultats obtenus.....	68
IV.3.Résultats de l'essai de Proctor normal.....	69
IV.3.1. Essai sur la Marne.....	69
a) L'essai par l'eau potable.....	69
b) L'essai par l'eau de mer.....	69
IV.3.2. L'essai sur le schiste.....	70
a) L'essai par l'eau potable.....	70
b) L'essai par l'eau de mer.....	71
IV.3.3. L'essai sur l'argile (peu plastique).....	71
a) L'essai par l'eau potable.....	71
b) L'essai par l'eau de mer.....	72
IV.3.4.Récapitulatifs des résultats obtenus.....	73
IV.4. Résultats de l'essai de cisaillement rectiligne à la boîte de Casagrande...73	
IV.4.1. L'essai sur la marne.....	73
a) L'essai sans ajout (sec).....	73
b) L'essai avec l'ajout (eau potable et eau de mer):.....	74
IV.4.2. L'essai sur le schiste.....	75
a) L'essai à l'état sec.....	75

b) L'essai avec l'ajoute (eau potable et eau de mer).....	75
IV.4.3.L'essai sur l'argile peu plastique.....	76
a) L'essai à l'état sec.....	76
b) L'essai avec l'ajoute (eau potable et eau de mer).....	77
IV.4.4.Récapitulatifs des résultats obtenus.....	78
IV.5.Résultats de l'essai Oedométrique.....	78
IV.5.1. L'essai sur la marne.....	79
a) L'essai par l'eau potable.....	79
b) L'essai par l'eau de mer.....	79
IV.5.2. L'essai sur le schiste.....	80
a) L'essai par l'eau potable.....	80
b) L'essai par l'eau de mer.....	81
IV.5.3.Récapitulatifs des résultats obtenus.....	82
Conclusion.....	83
Conclusion générale.....	84

Liste des tableaux

N°	Tableaux	Pages
01	Tableau (I, 01): classes de pente dans la région de Jijel.	6
02	Tableau (II, 01): récapitulatif des différentes argiles selon leur composition chimique.	22
03	Tableau (II, 02): Taux d'humidité aux différentes stations.	24
04	Tableau (II, 03): pourcentage d'absorption d'argiles en fonction de leur poids.	28
05	Tableau (II, 04): Comparaison des deux types d'adsorption.	29
06	Tableau (II, 05): surface spécifique et capacité d'échange de cations de différentes argiles.	30
07	Tableau (II, 06): compositions chimique de l'eau de mer.	33
08	Tableau (II, 07): Propriétés géotechniques du sol obtenues à partir des essais précédent	35
09	Tableau (III, 01): normes des essais d'identification sur les sols argileux.	38
10	Tableau (III, 02): résultats des analyses chimiques de l'eau potable.	39
11	Tableau (III, 03): résultats des analyses chimiques de l'eau de mer.	40
12	Tableau (III, 04): résultats obtenus pour l'échantillon de la marne.	41
13	Tableau (III, 05) : Résultats obtenus pour le deuxième échantillon (schiste)	42
14	Tableau (III, 06) : Résultats obtenus pour le troisième échantillon (argile)	42
15	Tableau (III, 07) : résultats de l'essai de la masse volumique	43

	absolue.	
16	Tableau (III, 08) : Classification des sols d'après l'essai de bleu de méthylène.	45
17	Tableau (III, 09) : Description de sol en fonction du coefficient d'uniformité.	47
18	Tableau (III, 10) : Les résultats de granulométrie (schiste)	47
19	Tableau (III, 11) : Les résultats de granulométrie (argile).	47
20	Tableau (III, 12) : Les résultats de granulométrie (marne)	48
21	Tableau (III, 13) : Granulométrie par sédimentation (schiste)	52
22	Tableau (III, 14) : Granulométrie par sédimentation (marne)	53
23	Tableau (III, 15) : Granulométrie par sédimentation (argile)	53
24	Tableau (IV, 01): Tableau récapitulatif des résultats de l'essai de limite d'Atterberg .	69
25	Tableau (IV, 02): Tableau récapitulatif des résultats de l'essai de proctor normal.	74
26	Tableau (IV, 03) : Tableau récapitulatif des résultats de l'essai de cisaillement rectiligne à la boîte de Casagrande.	80
27	Tableau (IV, 04) : Tableau récapitulatif des résultats de l'essai Oedométrique.	84

Liste des figures

N°	Figures	Pages
01	Figure (I, 1) : Situation géographique de la ville de Jijel Source : APC de Jijel	4
02	Figure (I, 2) : Géomorphologie de la région de Jijel au 1/600 000	8
03	Figure (I, 3) : Carte des pentes de la région de Jijel au 1/200 000.	9
04	Figure (I, 04) :Températures moyennes annuelles dans la région de Jijel pendant la période	10
05	Figure (I, 05) :Précipitations moyennes annuelles dans la région Jijel pendant la période	11
06	Figure (I, 06) :vitesse moyenne annuelle du vent dans la région de Jijel pendant la période	12
07	Figure (I, 07) :Humidité relative moyenne annuelle dans la région de Jijel pendant la période	12
08	Figure (I, 08) :évaporation moyenne mensuelle dans la région de Jijel pendant la période	13
09	Figure (I, 09) : Plan de situation des bassins versants.	14
10	Figure (II, 01) : représentation schématique de l'empilement des feuillets unitaire dans une argile (cas d'une smectite).	20
11	Figure (II, 02) :structure de différentes argiles	21
12	Figure (II, 03) : exemple de courbes de rétention d'un sable argileux.	26
13	Figure (II, 04) : schéma de l'adsorption physique.	28

14	Figure (II, 05): exemple d'évolution de la teneur en eau en fonction de la température	31
15	Figure (II, 06): la courbe d'essais granulométriques des trois types de sol.	34
16	Figure (III, 01): essai de la teneur en eau.	41
17	Figure (III, 02) : Essai d'éprouvette graduée.	43
18	Figure (III, 03) : Essai au bleu de méthylène (méthode à la tache).	45
19	Figure (III, 04): Granulométrie par tamisage.	46
20	Figure (III, 05): Appareillage d'analyse granulométrique par sédimentométrie	49
21	Figure (III, 06): Lecture du densimètre	50
22	Figure (III, 07) : Lecture corrigé du densimètre.	51
23	Figure (III, 08): Courbe granulométrique (schiste)	52
24	Figure (III, 09): Courbe granulométrique (marne)	53
25	Figure (III, 10): Courbe granulométrique (argile)	54
26	Figure (III, 11): Représentation des limites d'Atterberg	55
27	Figure (III, 12): étapes de l'essai avec l'appareille de Casagrande	56
28	Figure (III, 13): Détermination de la limite de plasticité.	57
29	Figure (III, 14): Mode opératoire de l'essai Proctor	59
30	Figure (III, 15): Principe de l'essai de cisaillement rectiligne à la boite.	60
31	Figure (III, 16): étapes l'essai de cisaillement rectiligne à la boite.	60
32	Figure (III, 17): Appareille d'oedométrie	63

33	Figure (IV, 01) : Courbe de la limite de liquidité. (Marne+eau potable)	65
34	Figure (IV, 02) : Courbe de la limite de liquidité. (Marne+eau de mer)	66
35	Figure (IV, 03) : Courbe de la limite de liquidité. (Schiste + eau potable)	67
36	Figure (IV, 04) : Courbe de la limite de liquidité. (Schiste+ eau de mer)	67
37	Figure (IV, 05) : Courbe de la limite de liquidité. (Argile peu plastique +eau Potable)	68
38	Figure (IV, 06) : Courbe de la limite de liquidité. (Argile peu plastique +eau de Mer)	69
39	La figure (IV, 07) : Courbe de compactage. (Marne+eau potable)	70
40	La figure (IV, 08) : Courbe de compactage. (Marne+eau de mer)	71
41	La figure (VI, 09) : Courbe de compactage (schiste +eau potable)	72
42	La figure (IV, 10) : Courbe de compactage. (Schiste +eau de mer)	72
43	La figure (IV, 11) : Courbe de compactage. (Argile peu plastique+eau potable)	73
44	La figure (IV, 12) : Courbe de compactage. (Argile peu plastique + eau de mer)	73
45	Figure (IV, 13) : Courbe intrinsèque de l'essai (marne)	75
46	Figure (IV, 14) : Courbe intrinsèque de l'essai. (Marne +eau potable)	75
47	Figure (IV, 15) : Courbe intrinsèque de l'essai (marne +eau de mer)	76

48	Figure (IV, 16) : Courbe intrinsèque de l'essai (schiste)	76
49	Figure (IV, 17) : Courbe intrinsèque de l'essai (schiste+eau potable)	77
50	Figure (IV, 18): Courbe intrinsèque de l'essai (schiste +eau de mer)	77
51	Figure (IV, 19) : Courbe intrinsèque de l'essai (argile peu plastique)	78
52	Figure (IV, 20): Courbe intrinsèque de l'essai. (L'argile peu plastique +eau potable)	78
53	Figure (IV, 21): Courbe intrinsèque de l'essai. (L'argile peu plastique +eau de mer)	79
54	Figure (IV, 22) : Courbe de compressibilité. (Marne+eau potable)	81
55	Figure (IV, 23) : Courbe de compressibilité. (Marne+eau de mer)	82
56	Figure (IV, 24) : Courbe de compressibilité. (Schiste+eau potable)	83
57	Figure (IV, 25) : Courbe de compressibilité. (Schiste+eau potable).	84

Introduction générale:

La région de Jijel fait partie du sahel littoral de l'Algérie, la wilaya est d'une position géographique stratégique. Elle est caractérisée par un climat froid et plus pluvieux en Hiver, et chaud en Eté. D'un contexte géologique est formé par des roches cristalloylliennes, avec une couverture sédimentaire formée de grés et de dépôts plus récents. Pour l'alimentation en eau potable, la ressource exploitée provient de 60% des forages et 40% du barrage d'El Agrem, pour un volume journalier moyen de 22500 m³/jour injecté dans le réseau de distribution. Le rendement du réseau d'eau potable est de 70 %, dont 25 % du volume qui fuit le réseau d'AEP est récupéré par le réseau des eaux usées. La wilaya de Jijel comprend la station de dessalement d'eau de mer suivantes: station de dessalement de Jijel 200000 m³/ jour d'eau potable.

Dans notre région d'étude il existe différents types des sols argileux tel que les marnes, les schistes.....etc, cette région caractérisée par des ensembles associés des roches basiques qui présentent la minéralogie suivante, albite, orthose, biotite, apatite, et sphéne. Plus encore, un ensemble cristalloyllien inférieur, formé de gneiss à intercalations, parfois puissantes, de marbre et d'amphibolites, des péridotites, représentées par des lherzolites à plagioclase fortement serpentinisées, des gneiss rétomorphosés et des pegmatites interprétés comme issues d'une zone crustale profonde.

Le comportement des sols argileux, notamment celui spécifique au retrait et au gonflement, a fait l'objet de nombreuses recherches. Ces recherches ont débuté il y a plusieurs décennies et concernent de nombreuses disciplines scientifiques. Il semblerait que les principales raisons sont liées aux spécificités des sols argileux (composition, texture, environnement climatique et géotechnique) mais également à leur répartition importante dans la nature induisant à la fois des difficultés dans la compréhension de mécanismes physiques complexes et le développement d'analyses aussi diverses que les domaines scientifiques concernés. L'analyse minéralogique a sans aucun doute apporté beaucoup dans la discrimination des argiles, et montre toute l'étendue et la diversité des minéraux argileux, jouant un rôle important dans le comportement du sol.

Cette mémoire est une étude comparative de l'influence du type d'eau sur les propriétés physiques et mécaniques des sols argileux. On va étudier les propriétés physiques et mécaniques des sols argileux, pour ce faire on est besoin de deux types d'eaux: eau potable et eau de mer; dans le but d'effectuer des essais sur les différents types d'argiles dans la région de Jijel.Ce

travail se compose de quatre chapitres, on va commencer par l'introduction générale et terminer par une conclusion générale.

Le premier chapitre présente la région d'étude la wilaya de Jijel.

Le deuxième chapitre présente les différentes caractéristiques des sols argileux, types et classification des sols argileux, des études déjà réalisées sur l'effet des eaux salées sur les sols,...etc.

Le troisième chapitre présente une série des essais d'identification, pour étudier les propriétés physiques et mécaniques des trois types d'argiles utilisés.

Le quatrième chapitre porte sur une étude expérimentale qui a été effectuée dans le laboratoire afin de déterminer l'influence du type d'eau sur les propriétés physiques et mécaniques des sols argileux.

Chapitre I: Présentation de la région de Jijel

I.1.Introduction:

La région de Jijel s'inscrit dans un contexte méditerranéen riche et complexe caractérisée par son histoire, données urbanistiques, climatologiquesetc. elle fut principalement construite après 1856 ce qui implique que le centre est purement colonial obéissant aux lois d'urbanisme spécifiques à savoir le principe de densification ou la création d'une cour intérieure est présente dans toutes les habitations, la maison avec cour est l'une des modèles traditionnels qui permettaient d'étudier la performance thermique, manifestant à travers son existence l'adaptation à ces climat humide, et en offrant un environnement intérieur bien apprécié par les usagers. Le choix porte en outre pour son climat méditerranéen, pour mieux répondre à notre problématique, soit l'étude de l'impact de la configuration géométrique et l'orientation du patio sur le confort thermique d'été sous le climat de Jijel. [1]

I.2. Situation géographique:

La région de Jijel fait partie du sahel littoral de l'Algérie, la wilaya est d'une position géographique stratégique, elle est située au Nord-est entre les latitudes 36° 10 et 36° 50 Nord et les longitudes 5° 25 et 6°30 Est, le territoire de la wilaya dont la superficie s'élève à 2396Km² avec une façade maritime de 120Km². La région appartient au domaine nord atlastique connu localement sous le nom de la chaîne des Babors, elle est bordée:

- Au nord par la méditerranée;
- Au sud par la wilaya de Mila;
- Au sud –Est par la wilaya de Constantine;
- Au sud –Ouest par la wilaya de Sétif;
- A l'Est par la wilaya de Skikda;
- A l'Ouest par la wilaya de Bejaia. [2]

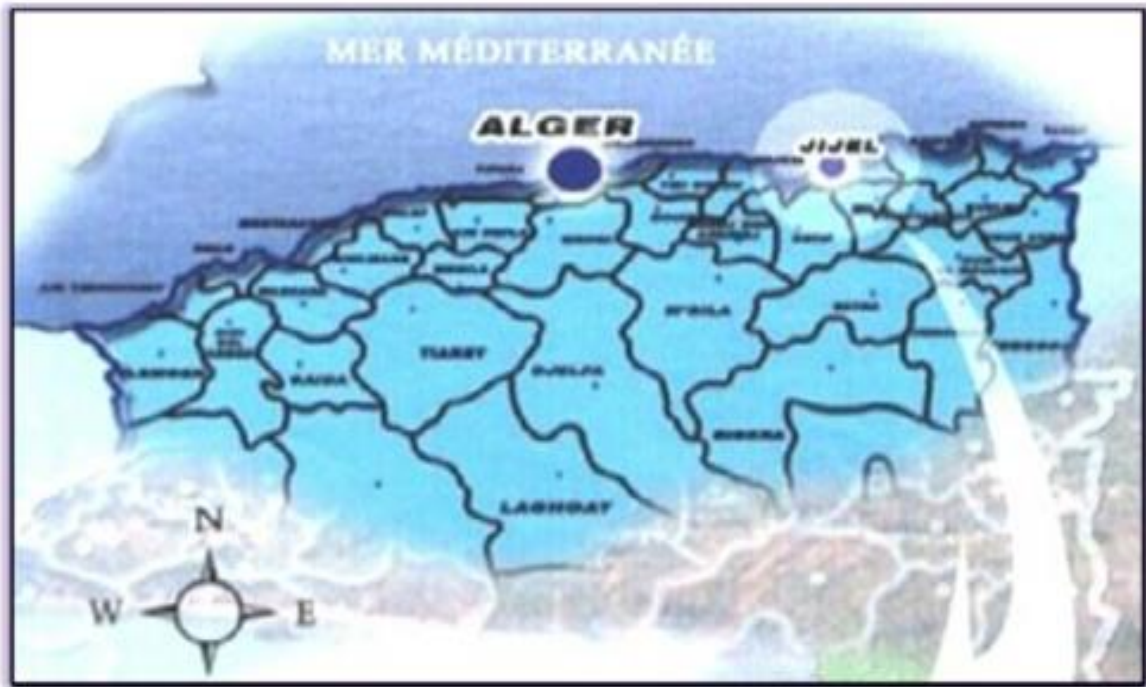


Figure (I, 01) : situation géographique de la ville de Jijel.

I.3. Reliefs:

Bien que l'altitude faisant partie du grand ensemble du tell oriental algérien, la wilaya de Jijel est caractérisée par un relief très accidenté venant de toutes les directions. En effet, la majorité du relief de la région présente des pentes supérieures à 12.5 % tandis que le territoire communal de Jijel est constitué de petites plaines littorales, et caractérisée par un relief montagneux très complexé dans sa structure et dans sa morphologie. Elle se distingue par un grand massif montagneux, par un ensemble collinaire et par des étendues de plaines côtières et de vallées moyenne soit de 600 à 1000 m. On distingue principalement deux région physique: situées au nord, le long de la bande littorale allant des petites plaines de Jijel, les plaines d'El-Aouana, le bassin de Jijel, les vallées de Oued Kébir, Oued Boussiaba et les petites plaines de Oued Z'hor. Ces reliefs est constituées l'essentiel du territoire de la wilaya (ou 82% de la surface), et elles sont composées de deux groupes:

- **Groupe 01:** sont des zones moyennes montagnes situées dans la partie littorale et centre de la wilaya caractérisée par une couverture végétale très abondante, et un réseau hydrographique important.
- **Groupe 02:** sont des zones de montagnes difficiles situées à la limite sud de la wilaya. Elles comportent les plus hauts sommets de la wilaya dont les principaux sont: Tamasghida, Tababour, Bouazza et Sadda. [2,3]

I.4.Contexte géologique:

La géologie est un outil précieux au service de l'étude hydrogéologique, elle permet de définir les formations et les structures susceptibles de constituer des réservoirs, et d'estimer leurs importances et capacités.

I.4.1. Localisation structurale de la région de Jijel:

La wilaya de Jijel se trouve dans la zone dite les massifs métamorphiques kabyles faisant partie des zones hydrogéologiques des montagnes plissées du littoral méditerranéen. Elle appartient au domaine de la petite Kabylie qui présente trois massifs anciens: Les Babors, le massif de Collo et le massif de l'Edough avec leurs couvertures plissées d'âge Mésozoïque et Cénozoïque. La petite Kabylie se limite au Nord par la mer méditerranée, à l'ouest par la Soummam et la grande faille qui sépare la petite Kabylie de la Grande Kabylie, à l'Est-elle se limite par la dépression de la plaine de Annaba, tout à fait au Sud, on a une rupture imprécise qui correspond à la ligne de partage des eaux entre le bassin du Hoddna, et les oueds du Nord drainés par la méditerranée. [6, 7].

La majeure partie de la petite Kabylie est formée par des roches cristallophylliennes, avec une couverture sédimentaire formée de grés et de dépôts plus récents, l'ensemble est traversé par des filons éruptifs. Du point de vue géologique, la région de Jijel a fait l'objet de plusieurs études géologiques, ces études montrent l'existence de deux types de terrains, l'un sédimentaire et l'autre métamorphique. L'échelle stratigraphique de ces terrains se répartit du Quaternaire au primaire. L'ensemble sédimentaire d'âge Mésozoïque, Cénozoïque et Quaternaire couvre les terrains métamorphiques, donc la couverture tertiaire repose soit sur le socle Kabyle, soit sur les terrains créacé appartenant à des séries de types flysch. Elle est constituée de sédiments littoraux, qui se sont déposés dans le bassin de Jijel nettement individualisés durant le Néogène; c'est le bassin Sahélien de Jijel. [4, 5]

I.4.2.Les grands ensembles métamorphiques:

Le socle métamorphique de la petite Kabylie constitue le substratum de la région étudiée. Ce socle est largement charrié vers le Sud, sur des terrains mésozoïques et cénozoïques, sur plus d'une trentaine de kilomètre. Les données bibliographiques se rapportant à la partie occidentale du socle de la petite Kabylie montrent que ce dernier est composé de deux ensembles superposés:

- A la base, ensemble gneissique comportant des intercalations de marbres, intrus des roches granitoïdes et ayant cristallisé dans le faciès des granulites;
- Au sommet, un complexe de micaschistes largement développé, au sein duquel s'intercalent des niveaux de marbres et de calco-schistes. Cet ensemble s'achève vers le haut, par des schistes faiblement métamorphisés.[4]

Un ensemble cristallophyllien inférieur, formé de gneiss à intercalations, parfois puissantes, de marbre et d'amphibolites. Dans la zone du cap Bougaroun, la base du socle est constituée, par des péridotites, représentées par des lherzolites à plagioclase, fortement serpentinisées, des gneiss rétrotransformés et des pegmatites interprétés comme issues d'une zone crustale profonde et du manteau supérieur [8]. Un ensemble cristallophyllien supérieur comportant principalement des schistes satinés ou phyllades ayant subi un métamorphisme de basse pression avec une zone supérieure à chlorites. Un ensemble essentiellement sédimentaire constituant la couverture paléozoïque du socle cristallin. Les séries peu ou pas métamorphiques, comprennent des termes débutant au Cambrien et pouvant atteindre le Carbonifère [9]. Dans la partie occidentale de la petite Kabylie (région de Texanna) l'ensemble inférieur est composé essentiellement de gneiss à plagioclase et à deux micas. Cet ensemble présente des intercalations de quartzites, marbres et amphibolites; des roches granitoïdes, constituées de tourmaline, quartz, micas, et oligoclase, sont associées à cet ensemble [10].

L'ensemble supérieur forme d'immenses étendues dans la partie occidentale, il comporte de bas en haut, des schistes à séricites, des micaschistes, des schistes à muscovite et chlorite. A cet ensemble sont associées des roches basiques qui présentent la minéralogie suivante, albite, orthose, biotite, apatite, et sphène. Cet ensemble se termine par des psammites et calcaires à orthocères [7]. Durant tout le secondaire et jusqu'à l'oligocène terminal, le socle Kabyle était probablement émergé ; en effet les dépôts de "l'Oligo-Miocène-Kabyle" reposent directement sur le socle. Ils débutent par des conglomérats à galets de quartz et de phyllades et par des grès micacés [11, 4].

I.4.3. La dorsale kabyle ou "chaîne calcaire":

Elle doit son nom "chaîne calcaire" du fait de la sédimentation carbonatée dominante. Le terme "dorsale kabyle" a été ultérieurement proposé [11]. Depuis, la généralisation de l'utilisation du terme "dorsale" dans le domaine océanique, on constate que le terme "chaîne calcaire" est le plus utilisé dans les travaux récents [6, 9]. En Petite Kabylie les formations de

la chaîne calcaire dont l'âge s'étale du Permo- Trias à l'Eocène représentent la couverture sédimentaire mésozoïque et tertiaire du socle kabyle. Elle est représentée par des lambeaux écaillés, alignés suivant une direction Est-Ouest et constituent les témoins les plus méridionaux du domaine interne [4,12]. En petite Kabylie, la "chaîne calcaire" ou "dorsale kabyle" a été subdivisée en trois unités: interne, médiane et externe [11,6]

- Dorsale interne: elle est caractérisée par une série sédimentaire conglomératique à la base et calcaire au sommet d'âge allant du Permo-Trias au Néocomien. Depuis elle est restée immerger jusqu'au Paléocène puis, à partir de l'Eocène se sont déposés des calcaires néritiques massifs. [13]
- Dorsale médiane: elle montre, à la base, la même série que la dorsale interne qui peut cependant atteindre le Barrémien. Le Crétacé supérieur, le Paléocène, l'Eocène (Jusqu'au Lutétien sont représentés par des marno-calcaires à microfaunes pélagiques. Au Lutétien supérieur apparaissent des faciès à microfaune benthique).
- Dorsale externe: elle est caractérisée par des formations détritiques du Crétacé et de l'Eocène. [13]

I.5.Contexte géomorphologique:

I.5.1.Les éléments du relief:

Les éléments de relief qui faisant partie du grand ensemble du tell oriental algérien; la zone d'étude présente un relief montagneux très complexé dans sa structure et dans sa morphologie, elle se distingue par un grand massif montagneux, par un ensemble collinaire et par des étendues de plaines côtières et de vallées. Du point de vue morphologique, le territoire de la région de Jijel peut être subdivisé en trois grands ensembles à savoir:

- La Kabylie de Babors qui correspond à tout le territoire côtier occidental, et s'étend jusqu'à la limite Sud-ouest de la région.
- La Kabylie de Collo qui correspond au secteur oriental et les monts de Tamesguida.
- La chaîne de Constantine qui se limite juste au versant Nord de Zouahraet M'sida Aich.



Figure (I, 02):géomorphologie de la région de Jijel au 1/600000. [2]

I.5.2.Les pentes:

Il existe quatre classes de pentes de la wilaya de Jijel, le tableau ci-dessous présent les différentes proportions en fonction de classe de la pente.

Tableau (I, 01):classes de pente dans la région de Jijel. [2]

Les classes	Pente (%)	Superficie (Ha)
Classe I	0 - 3	11000
Classe II	3 - 12.5	33,501
Classe III	12.5 - 25	192,055
Classe IV	> 25	130,541

Deux massifs aux pentes raides encadrent le territoire de la wilaya, en inscrivant comme repère, nous citerons les communes qui s’y situent:

- À l’Est, les communes d’El-Milia, Settara, Ghebala et Sidi Maarouf qui totalisent 25.780 Ha de terrain ayant plus de 25% de pente où les formes escarpées sont nombreuses caractérisant ainsi le relief accidenté.

- À l'Ouest, les communes de Ziama, Erraguene, El-Aouna et Selma qui totalisent 1.327 Ha de terrain ayant plus de 25% de pente.[2]

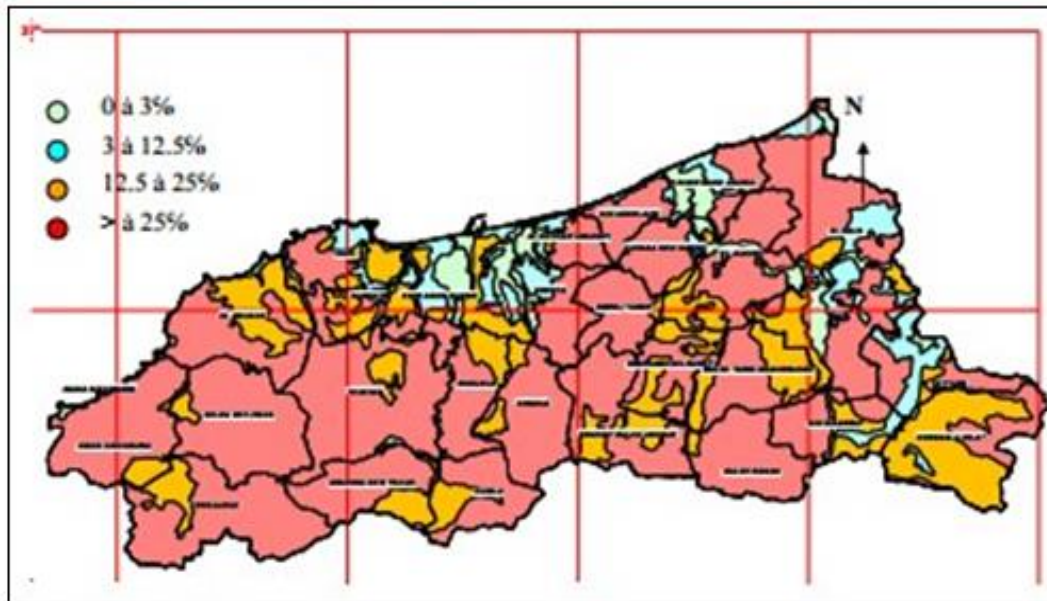


Figure (I, 03):carte des pentes de la région de Jijel au 1/200000. [2]

I.6.Climat de la zone d'étude:

La situation géographique de la wilaya et l'orientation de ses vallées sont à l'origine d'un climat doux et humide, la région de Jijel est considérée parmi les régions les plus pluvieuses d'Algérie, elle est caractérisée par un climat méditerranéen, pluvieux et froid en hiver, chaud et humide en été. [2]

I.6.1.Température:

La région de Jijel se caractérise par un climat froid en Hiver, et chaud en Eté, selon la figure (I, 04) le mois le plus chaud est celui d'Aout, dont la valeur de température moyenne annuelle est de 21°C, mais la valeur minimale est de 6,50°C au mois de Février comme étant le mois le plus froid. Les températures extrêmes sont $T_{MAX}= 32^{\circ}C$ au mois d'Aout et $T_{MIN}= 12.5^{\circ}C$ en Février.

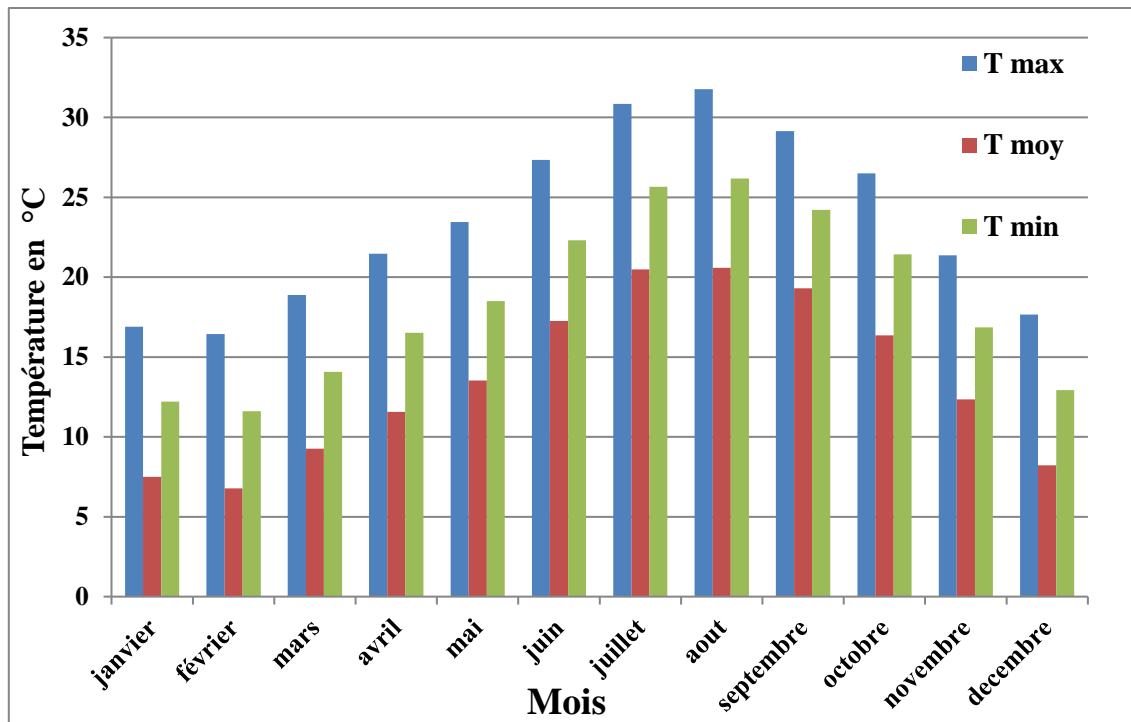


Figure (I, 04):Températures moyennes annuelles dans la région de Jijel pendant la période (2007 -2014). [16]

I.6.2.Précipitations:

Couramment les pluies, qui consiste le poste entrée du cycle de l'eau, sont une composante fondamentale en hydrologie. Ils sont, avec les écoulements, l'un des processus hydrologiques les plus variables, à la fois dans l'espace et dans le temps. La région de Jijel se caractérise par une forte pluviométrie aux mois d'hiver, d'après la figure (I, 05), la valeur maximale des précipitations moyennes annuelles est de 1800.8 mm au mois de Novembre comme étant le mois le plus pluvieux, et elle est de l'ordre de 10 mm au mois de Juillet comme étant le mois le plus sec.

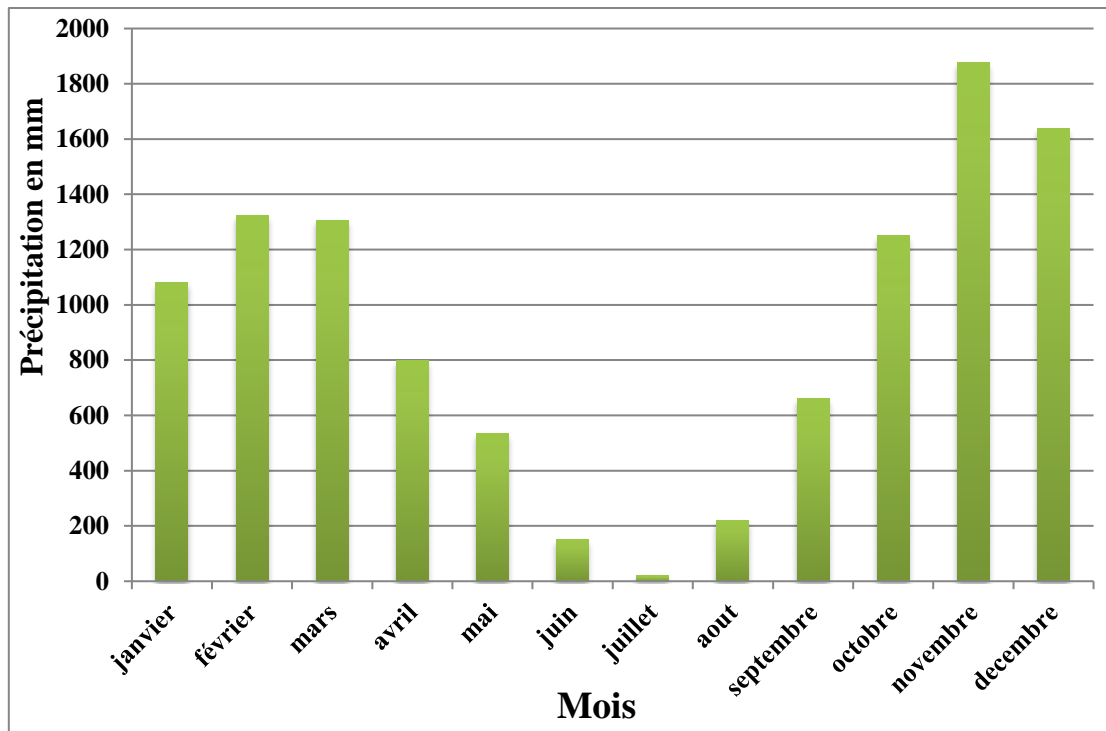


Figure (I, 05):Précipitations moyennes annuelles dans la région Jijel pendant la période (2007 -2014). [16]

I.6.3.Le vent:

Il est un agent climatique influant directement sur le climat d'une région, en raison des dégâts qu'il cause .et l'un des éléments les plus caractéristiques du climat. Il agit en activant l'évaporation et accentue ainsi la sécheresse [2]. Dans la région de Jijel, les vents soufflent suivant différentes directions, nous enregistrons d'après la figure (I, 06) que la valeur maximale de la vitesse du vent est de l'ordre de 3.4 m/s au mois de Février, et que la vitesse minimale est de l'ordre de 2 m/s au mois d'octobre.

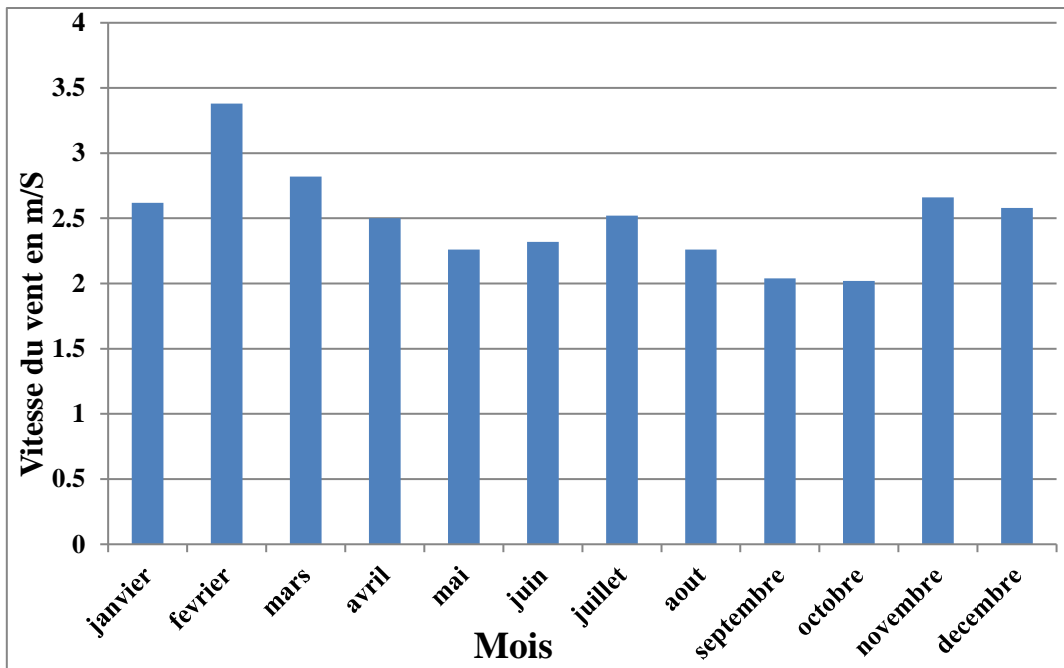


Figure (I, 06): vitesse moyenne annuelle du vent dans la région de Jijel pendant la période (2007 -2014). [16]

I.6.4.Humidité relative:

La figure (I, 07) présente les valeurs d'humidité relative moyenne annuelle enregistrée au niveau de la station de Jijel, on remarque que l'humidité relative maximale est de l'ordre de 78%, au mois de Janvier.

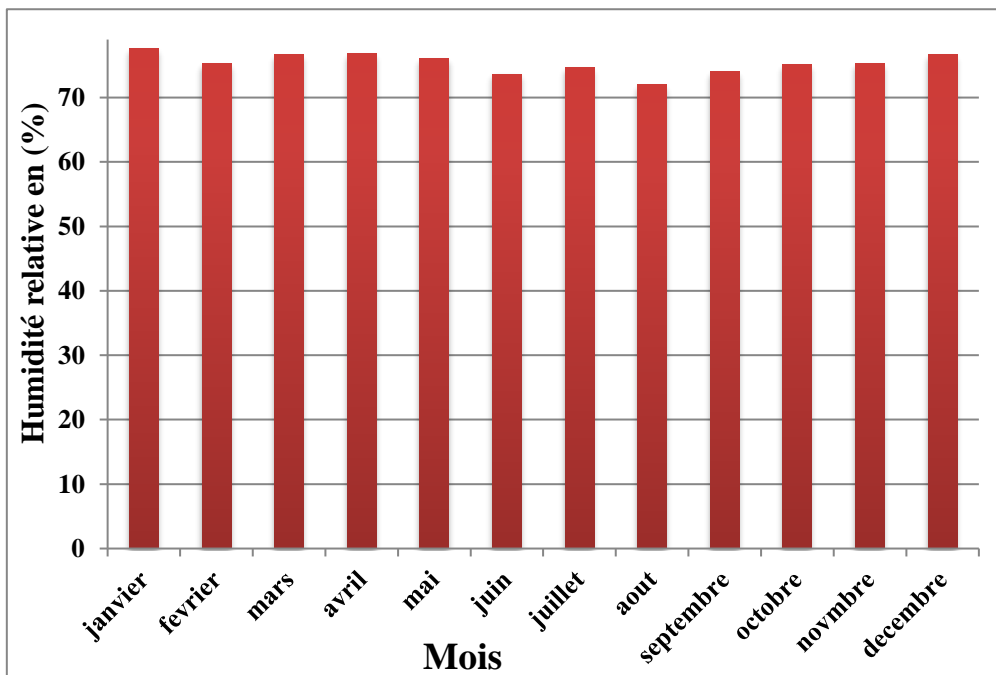


Figure (I, 07): Humidité relative moyenne annuelle dans la région de Jijel pendant la période (2007 -2014). [16]

I.6.5.L'évaporation:

Est un phénomène physique de la transformation de l'eau en vapeur d'eau, il intervient à toutes les phases du cycle de l'eau [5]. Nous constatons d'après la figure (I, 08) que la valeur maximale d'évaporation est de 920 mm au mois d'Aout, et la valeur minimale est de l'ordre de 490 mm au mois de Janvier.

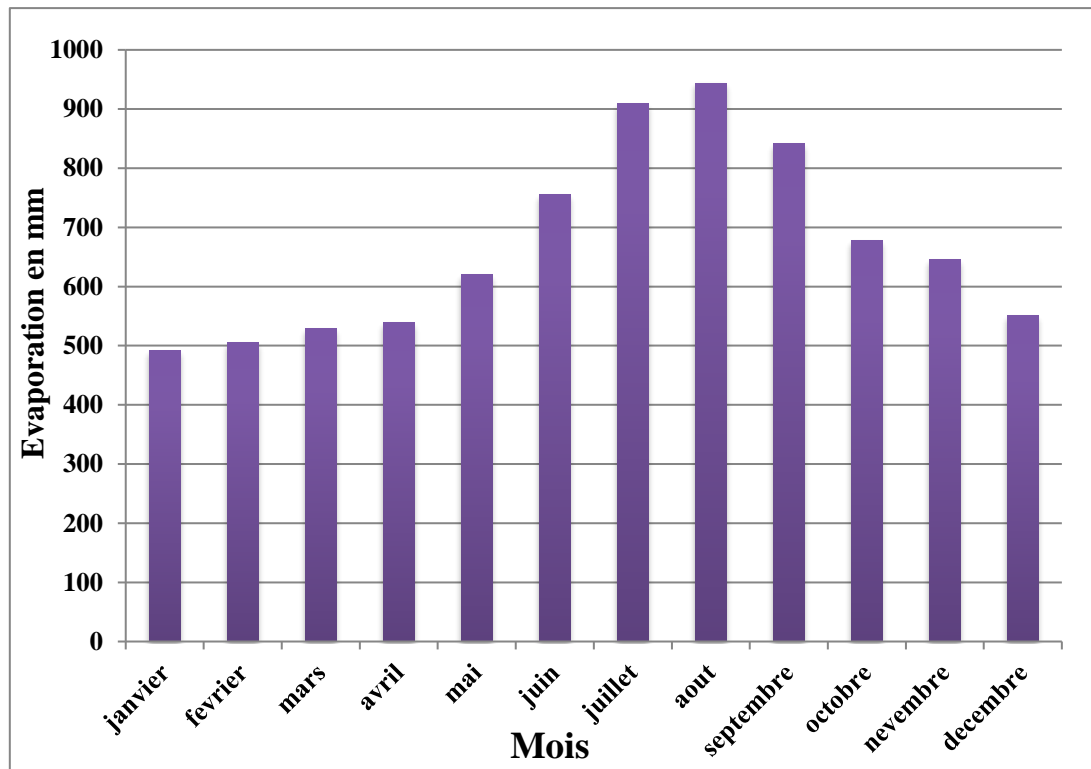


Figure (I, 08):évaporation moyenne mensuelle dans la région de Jijel pendant la période (2007 -2014). [16]

I.7.Hydrologie:

Le régime hydrologique d'un bassin versant dépend de ses caractéristiques morpho métriques, géologiques, de l'occupation du sol (végétation, route,...), et des précipitations. Il est aussi en relation avec les apports d'eau liés aux échanges oued-nappe, sources et rejets anthropiques [14]. L'eau est une matière première de grande importance pour la survie des êtres humains et de leur environnement. L'alimentation en eau de la région de Jijel (villes de Jijel, Taher, Emir Abdelkader) partie assurée par le bassin Djendjen. Cependant, l'édification de nouvelles infrastructures (port de Djendjen,...etc), le développement et l'extension types de cultures (plasticulture) l'accroissement des populations la demandes en d'une part. Pour l'alimentation en eau potable, la ressource exploitée provient de 60% des forages et 40% du barrage d'El Agrem, pour un volume journalier moyen de 22500 m³/j injecté dans le réseau de distribution.

Le rendement du réseau d'eau potable est de 70 %, dont 25 % du volume qui fuit le réseau d'AEP est récupéré par le réseau des eaux usées.

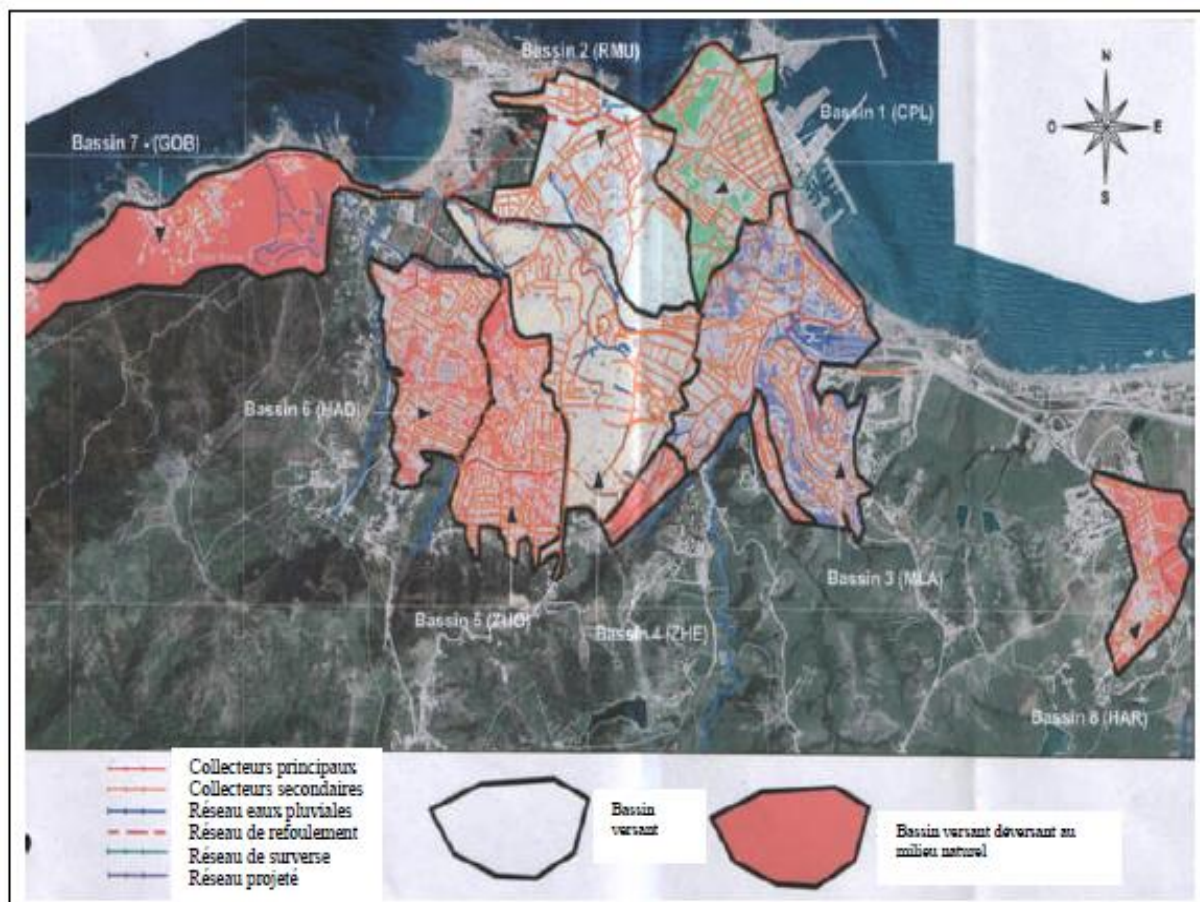


Figure (I, 09) : Plan de situation des bassins versants.

Bien que la wilaya de Jijel recèle d'un important potentiel hydrique, un nombre important de régions font toujours face à des situations de crises aiguës à longueur d'année, l'absence d'eau potable dans les robinets revient souvent au-devant des préoccupations des habitants d'El-Milia, sidi Maarouf, Settara et leurs alentours. Ces régions sont considérées comme les moins desservies de la wilaya, sont pourtant situées entre deux grands réservoirs hydriques de grande capacité, à savoir le barrage de Bni-Haroun dans la wilaya de Mila et celui Boussiaba à EL-Milia dont les travaux trainent toujours. En effet sa mise en eau était prévue pour l'année 2015, avant d'être différée pour 2018 privant ainsi toute la région Est de Jijel du précieux liquide. Cette éternelle histoire de crise d'eau qui a longtemps affecté cette région, ne s'arrête pas la ville est traversée par quatre oued: l'Oued Medabegh, l'Oued Mautas, l'Oued Kantara et l'Oued Mencha. La wilaya de Jijel comprend la station de dessalement d'eau de mer suivantes: station de dessalement de Jijel 200000 m³/jour d'eau potable [15].

I.8. Hydrogéologie de la région d'étude:

Toute étude hydrogéologique passe par un traitement détaillé des mesures hydro climatique permettant d'établir le bilan hydrique et par conséquent de comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux de surface et souterraines. Ayant déterminé les caractéristiques du complexe physique d'un bassin versant, nous allons essayer d'étudier les facteurs climatiques de cette région. De ce fait l'analyse des facteurs climatiques s'impose. Elle permet de mettre à jour les facteurs les plus importants qui régissent le climat et enfin d'établir le bilan d'eau.

L'établissement d'un bilan hydrique nécessaire pour le fonctionnement d'un système hydraulique de surface implique la connaissance des paramètres suivants: la précipitation, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement qui conditionnent ce bilan, Cette étude climatique débouchera sur un calcul du bilan en exploitant les données météorologiques disponibles et en utilisant la méthode adaptée à la région. [14]

Conclusion:

La région de Jijel est caractérisée par un environnement ayant comme spécificité:

- ✓ Le climat méditerranéen, dont des précipitations aux mois d'hiver qui atteint l'ordre de 1800,80 mm; et, dont la température aux mois d'été qui atteint l'ordre de 32 °C ou plus.
- ✓ D'un contexte géologique est formé par des roches cristallophylliennes, avec une couverture sédimentaire formée de grés et de dépôts plus récents.
- ✓ Plus de 60 % des ressources d'alimentation en eau potable sont des forages.
- ✓ La majorité des sols dans la région de Jijel sont: des schistes à séricites, des micaschistes, des schistes à muscovite, chlorite,etc.

Chapitre II: les sols argileux

II.1.Rappel sur les sols argileux:

II.1.1.Introduction:

Le terme «argiles» regroupe différentes catégories de matériaux naturels: un ensemble d'espèces minérales, une famille de roche, une catégorie de sols ou encore une classe granulométrique. [17] Une grande diversité de matériaux avec des compositions, des propriétés physico-chimique et des comportements mécaniques variés est contenue sous ce terme général. [18. 19]

Les argiles peuvent se présenter globalement sous deux formes structurales: les roches et les sols argileux. Leur caractéristique commune est la proportion, plus ou moins importante, des minéraux argileux qu'ils contiennent; cependant, on les différencie par:

- Le niveau de consolidation subie au cours de leur histoire géologique: elles sont consolidées et indurées en ce qui concerne les roches. [20]
- L'absence ou la faible valeur de la cohésion pour les sols argileux: on considère en général qu'un sol argileux est constitué de plus de 30 % d'éléments fins dont la taille est inférieure à 2 μm . [21]

II.1.2.Structure d'une argile:

Les minéraux argileux sont des phyllosilicates hydratés de petite taille, quel que soit le domaine concerné, la structure cristalline des argiles est importante, car elle conditionne les propriétés physiques du minéral [22]. Les minéraux argileux sont donc principalement des phyllosilicates, qui sont donc constitués par un empilement de feuillets, il existe terminologie utilisée pour définir la structure des argiles. On distingue trois niveaux d'organisation:

- Les feuillets, tétraédriques ou octaédriques;
- Les particules, qui correspondent à des combinaisons ou agencements de feuillets;
- Les agrégats, qui résultent de l'association de plusieurs particules. [23]

II.1.3. Texture d'une argile:

La texture est un paramètre important car il conditionne les propriétés physiques du minéral [22]. La texture concerne l'assemblage des minéraux (argileux ou pas) sous forme d'agrégats, ainsi que l'arrangement ou distribution spatial de ces agrégats définissent la texture comme «la forme, la dimension et la disposition d'un certain nombre de minéraux naturellement groupés en une population au sein de la roche». Cette organisation peut faire l'objet de différentes classifications, ces classifications sont valables pour les sols argileux. Gens et Alonso en 1992, ont établi une classification pour les sols gonflants, à partir des travaux de Collins en 1974. Cette classification se base sur l'organisation des particules élémentaires argileuses:

- Texture matricielle dont la base est une pâte homogène avec les particules élémentaires disséminées dans cette pâte. Cette texture est une caractéristique des sols naturels ou des sols compactés du côté humide de l'optimum Proctor;
- Texture agrégée ou compactée. [24]

II.1.4. Les principaux types d'argiles:

II.1.4.1. Classification selon la structure chimique:

La classification des argiles fut réalisée par Millot, ces argiles font parties des silicates hydratés, ceux-ci sont soit amorphes ou cristallisés. On distingue six types d'argiles:

a) Kaolinite:

Cette argile blanche, douce, friable, réfractaire, contient autant d'aluminium que de silice [25]. Riche en silice et peu concentrée en sels minéraux, elle est utilisée pour la fabrication de porcelaine et de céramique. C'est une des rares argiles inerte chimiquement, cette caractéristique en fait un composant idéal pour le papier, en tant que liant dans les peintures, dans les plastiques, ainsi que dans les médicaments. [26]

b) Bentonites:

Cette famille d'argile regroupe les montmorillonites, les bentonites, les saponites, les nontronites, les beidellites,... [27]. Ces différentes argiles sont connues pour leur capacité à piéger les molécules d'eau. Elles sont appelées argiles gonflantes, sous l'action de l'eau, elles peuvent augmenter leur volume jusqu'à 30%. En piégeant l'eau elles fixent aussi des cations permettant les échanges par adsorption. Elles prennent une texture de type gel, pouvant

transporter des ions ou des molécules actives, cette propriété est à la base des technologies de pansements pour le tube digestif. [28]

c) Illites:

Sa composition chimique de l'illite est riche en calcium (14%), en fer (9%) et pauvre en magnésium, elle présente un bon pouvoir d'absorption environ 25 % de son poids, et un faible pouvoir d'adsorption. Ce type d'argile est retrouvé au nord de la France où elle est connue pour ces propriétés. Malgré sa composition, elle est tout de même de qualité inférieure à la Montmorillonite. Elle se révèle néanmoins avoir un pouvoir d'absorption important. On l'utilise en tant que cataplasme épais à appliquer sur les contusions diverses (entorses...), Ou encore pour absorber des impuretés (déchets organiques, micro-organismes,...). [29]

d) Vermiculites:

Les vermiculites sont des argiles ayant une origine volcanique, riches en magnésium [30]. Elles sont formées par hydratation de minéraux basaltiques, lorsqu'elle est chauffée, elle éprouve un phénomène de dilatation, la rendant particulièrement utile comme isolant thermique pour les constructions, ce matériau ayant une faible masse, une incapacité à brûler et étant Imputrescible et inaltérable. [31]

e) Chlorites:

Ce nom leur a été attribué pour leur couleur verdâtre, du grec «chloros» signifiant vert, des chlorites de couleur jaune, rouge ou blanche sont également retrouvées. De structure similaire aux illites et smectites, l'espace entre leurs feuillets abrite une couche supplémentaire d'hydroxyde de magnésium, de fer ou d'aluminium.[32]

f) Minéraux argileux inter-stratifiés:

C'est le nom donné aux argiles dont la structure par alternance de feuillets de natures différentes correspond à une étape de transformation d'un minéral argileux à un autre. C'est le cas des illite-smectite, glauconite-smectite, chlorite-vermiculite,...La ghassoulite, minéral inter stratifié est appelée également ghassoul, rhassoul ou rassoul, ces termes sont dérivés du verbe «rassala», laver en arabe. Cette argile est considérée comme cousine de la Montmorillonite. Sa richesse en minéraux dont du silicium, calcium, potassium, fer, sodium, magnésium,...en fait un produit de qualité. Extraite au Maroc, elle est retrouvée dans les hammams pour ses nombreuses qualités. Elle est proposée en morceaux, pâte ou en fine poudre. [33]

II.1.4.2. Classification selon la couleur:

La variation de couleur constatée est fonction de la concentration en oxyde de fer, on distingue cinq types:

- **Verte:** ces argiles présentent une faible teneur en fer, ce sont généralement les montmorillonites, les illites et les smectites.
- **Blanche:** ces argiles ne contiennent aucune substance colorée, on retrouve le plus souvent des kaolinites mais également des smectites. [25]
- **Rose:** ces roches argileuses ne sont pas retrouvées au naturel, telles quelles. Il s'agit d'un mélange d'argile rouge et d'argile blanche. Ce mélange a pour but d'augmenter la concentration en oligo-éléments de l'argile blanche tout en diminuant la concentration en fer de l'argile rouge. [34]
- **Rouge:** généralement des illites, ces argiles sont riches en oxyde de fer très reminéralisantes, elles sont idéales en usage externe pour les peaux irritées, fatiguées ou ternes qu'elles adoucissent et purifient.
- **Jaune:** sont des illites riches en oxyde de fer et magnésium vont apaiser de nombreuses douleurs (articulaires, musculaires), et tonifier la peau, appliquées en masques, la peau et les cheveux normaux l'apprécient tout particulièrement. [35]

II.1.5. Porosité et distribution de taille de pores:

Les sols sont généralement constitués de particules solides formant un squelette autour duquel subsistent des espaces vides. Ces vides sont occupés soit par l'air, soit par de l'eau être présentent alors la fraction du matériau poreux susceptible de contenir de l'eau et définissent ainsi la porosité. Elle représente alors une caractéristique statique des terrains et est indépendante du mouvement de l'eau qui peut s'y trouver. [36]

II.1.6. Distribution de taille des pores:

La distribution de taille des pores est mesurée par porosimétrie au mercure pour les pores plus larges que 100-150 Å, et par désorption d'azote pour les pores dont la taille varie entre 10 - 250 Å. [37]

II.1.7. Nature minéralogique des argiles:

Les minéraux argileux sont des silicates hydratés (il s'agit généralement de silicates d'aluminium mais parfois de silicates de magnésium), dont la structure feuilletée permet de

les ranger dans la famille de phyllosilicate [38]. Les figures (II, 01) et (II, 02) montrent la terminologie utilisée pour définir la structure des argiles. On distingue quatre niveaux d'organisation:

- Les plans: sont constitués par les atomes.
- Les couches: association de deux plans d'atomes d'oxygène et/ou d'hydroxyle formant des couches de tétraèdre ou des couches d'octaèdre.
- Les feuillets correspondent à des combinaisons de couches.
- L'espace interfoliaire: c'est le vide séparant deux feuillets de même structure, il peut être occupé par des cations (éventuellement hydratés).
- Le cristal: résulte de l'empilement de plusieurs couches [39].

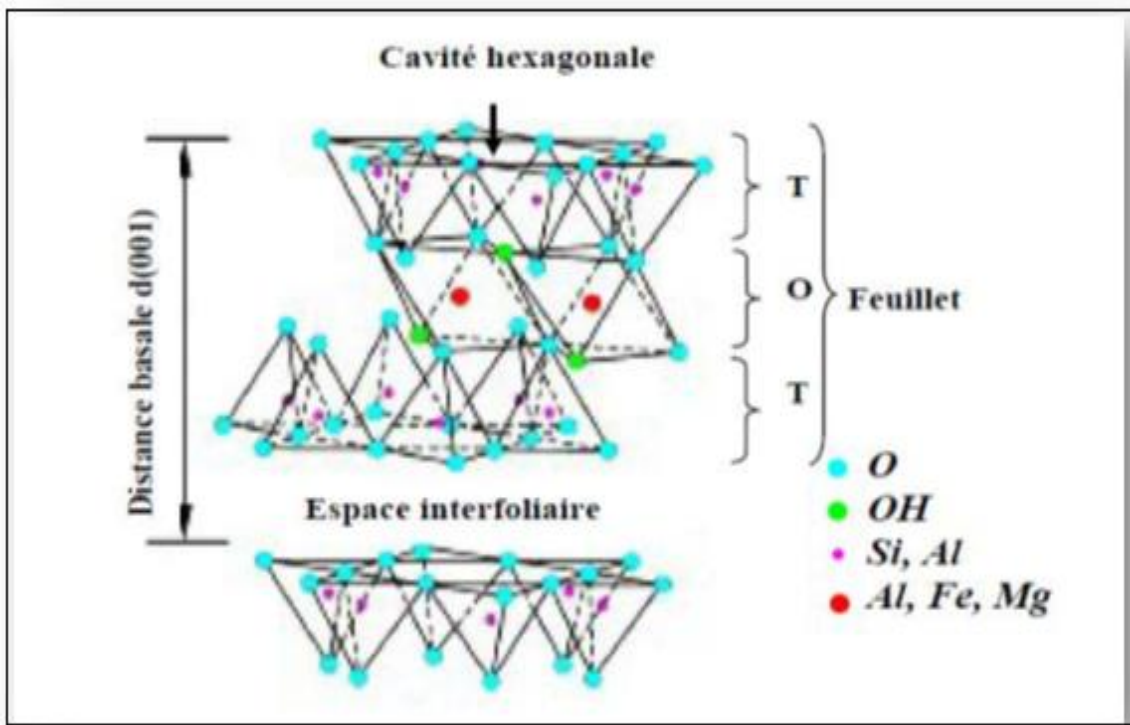


Figure (II, 01) : représentation schématique de l'empilement des feuillets unitaire dans une argile (cas d'une smectite).

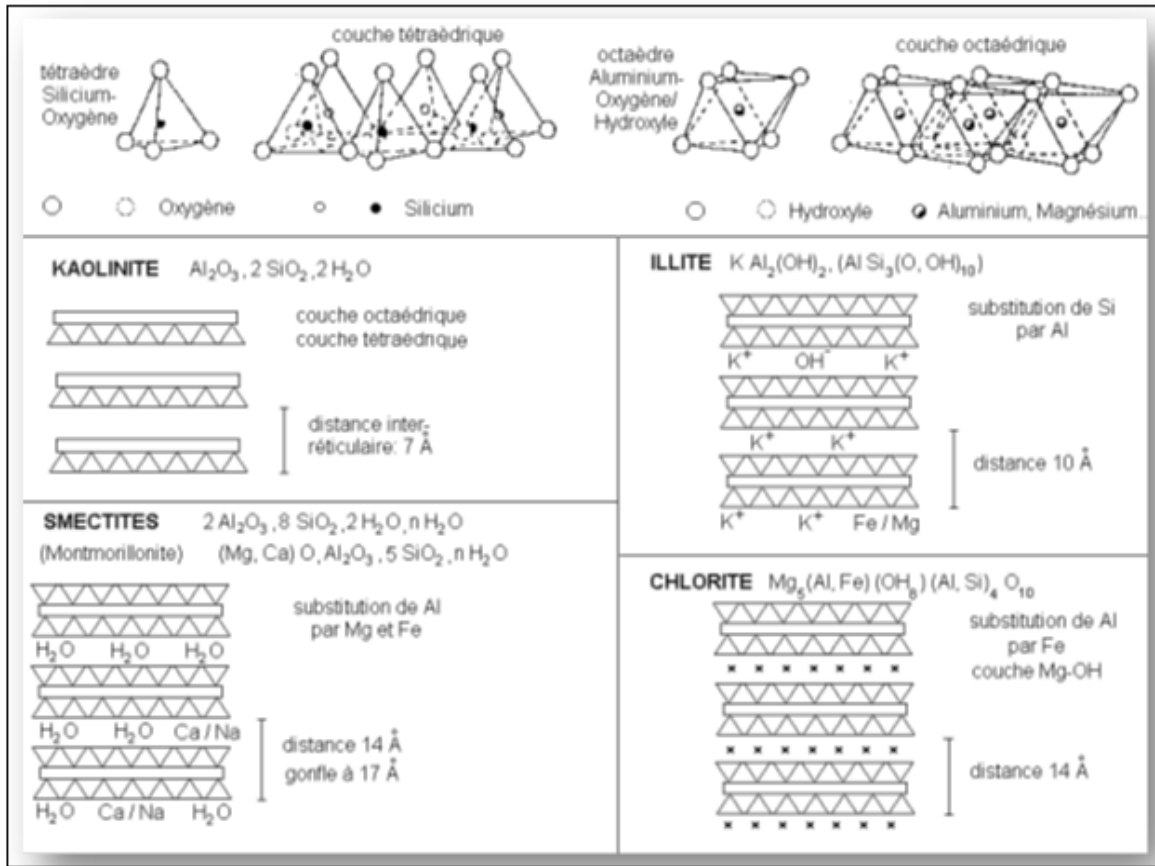


Figure (II, 02): structure de différentes argiles.

II.1.8. Composition chimique:

Les argiles sont constituées de Si, Al, Fe, Cu, Mg...; ce sont surtout des silicates hydratés, insolubles dans l'eau, elles ont peu d'odeur et de goût en retrouve par exemple:

- Kaolinite $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$
- Illite $KAl_2(OH)_2 \cdot (AlSi_3(O,OH)_{10})$
- Smectites $2Al_2O_3 \cdot 8SiO_2 \cdot 2H_2O \cdot nH_2O$ (Mg, Ca) O, $Al_2O_3 \cdot 5SiO_2 \cdot nH_2O$
- Gardiérite $2MgO, 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$
- Mullite $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$
- Les chlorites $Mg_5(Al, Fe)(OH)_8 \cdot (Al, Si)_4O_{10}$

Le tableau (II, 01) ci-dessous présente la composition des différentes argiles citées précédemment. [40]

Tableau (II, 01): récapitulatif des différentes argiles selon leur composition chimique.

Argiles		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O
Kaolin	Max	53.72	46.28	0.00	0.00	0.00
	Min	53.72	46.28	0.00	0.00	0.00
Montmorillonite	Max	61.47	23.00	4.32	4.65	0.84
	Min	48.24	16.54	0.30	0.03	0.12
Attapulgite	Max	58.10	17.52	4.12	10.35	0.39
	Min	54.64	10.33	3.01	7.28	0.00
Illites	Max	54.09	38.84	8.16	5.90	7.98
	Min	43.95	21.12	0.72	3.60	5.48
Vermiculites	Max	54.09	38.84	8.16	5.90	4.97
	Min	43.95	21.12	0.72	1.84	0.00
Chlorites	Max	39.01	52.00	5.01	10.14	1.52
	Min	29.50	32.15	0.00	0.00	0.00

II.1.9. Carbone organique:

Les argiles sont également connues pour être riches en matière organique [41]. Le sol contient un faible pourcentage massique de matière organique, généralement compris entre 1 et 5% [42]. Cette petite quantité de matière organique, dont le carbone organique constitue à peu près la moitié, est très importante pour le fonctionnement du sol et de l'écosystème tout entier. En effet, la matière organique du sol joue de multiples rôles dans les processus écologiques:

- Un substrat de base pour le réseau trophique détritifique: les microorganismes, saprophytes (composés de bactéries, d'archées et de champignons) et de nombreux organismes de la faune du sol, dont les ingénieurs du sol, se nourrissent en métabolisant les composés organiques des litières et du sol. Ces organismes saprophages servent alors de substrat pour divers organismes prédateurs et omnivores.
- Un réservoir d'éléments nutritifs, qui grâce à la minéralisation peuvent être libérés et rendus disponibles pour l'absorption par les plantes ou d'autres organismes du sol.
- La matière organique retient à sa surface des cations et anions adsorbés, elle a une capacité d'échange cationique très élevée, pour une argile de type illite. Ainsi que, la teneur en matière organique du sol a une forte influence sur la capacité de ce sol à retenir et restituer les éléments nutritifs, en les protégeant de la lixiviation.

- Les matières organiques contribuent à la structuration du sol, certains composés produits par les organismes du sol, comme les polysaccharides, jouent un rôle de glu entre les particules minérales, contribuant ainsi à l'agrégation. Les matières organiques stabilisées sont des matières colloïdales, qui participent à la formation du complexe argilo-humique grâce à leurs charges surfaciques. Cette liaison intime entre matière organique et argiles contribue également à la formation d'agrégats stables, et donc de macroporosité, synonymes d'une structure favorable au bon enracinement et fonctionnement racinaire des plantes, ainsi qu'à la bonne infiltration et au drainage de l'eau.
- La matière organique a une très forte capacité de rétention d'eau et permet donc d'augmenter la réserve utile du sol.
- La matière organique colore du sol qui devient plus sombre en sa présence. Le sol absorbe alors davantage de rayonnement solaire et il s'échauffe plus. Son bilan énergétique est donc lié à sa teneur en matière organique, entre autres facteurs. [43]

II.1.10. Taux d'humidité d'argile:

L'argile presse a un taux d'humidité élevé de 5,7 %, ce qui signifie que l'humidité dans ce cas a un rôle très important, elle facilite les particules argileuses de se comprimé, et d'éviter la déformation et la destruction des carreaux céramiques lors de ses extractions par les moules. Le résiduel séchoir a conservé un taux d'humidité de 1,2%, suffisant pour éviter des fissures et des défauts d'émail à la cuisson à haute température. La différence du poids de l'échantillon humide (P_H) et du poids de l'échantillon sec (P_S) nous permet de calculer le poids d'eau évaporée. Celui-ci rapporté en pour cent du poids de l'échantillon humide donne le taux d'humidité

$$T (\%) = \frac{P_H - P_S}{P_S}$$

Avec:

- P_H : poids en (g) d'un échantillon humide;
- P_S : poids en (g) d'un échantillon sec. [44]

Tableau (II, 02): Taux d'humidité aux différentes stations.

Station	P_h (g)	P_s (g)	T (%)
Trémie général	10	9.63	3.7
Après tamis	10	971	2.9
Silos	10	9.46	5.4
Argile presse	10	9.43	5.7
Résiduelle séchoir	10	9.88	1.2

II.2. Propriété hydraulique du sol:

II.2.1. Teneur et potentiel de l'eau:

La quantité d'eau contenue dans une unité de masse ou de volume, ainsi que son potentiel (énergie) sont des facteurs importants influençant le développement des plantes et les propriétés physiques du sol. De nombreuses autres propriétés des sols dépendent fortement de la teneur en eau telles que les propriétés mécaniques (consistance, résistance, perméabilité,....etc.). Dans les sols argileux, le gonflement et le retrait, induits par l'addition ou l'extraction d'eau, respectivement, induisent entre autres des changements de la porosité, de la densité et de la distribution et dimension des pores. La teneur en eau réagit également les échanges d'air ou de gaz du sol, de ce fait affectant la respiration des racines, l'activité des micro-organismes, et l'état chimique du sol (par exemple, le potentiel d'oxydation/réduction) [45]. La notion de potentiel hydrique du sol est une manière de mesurer l'énergie potentielle de l'eau. Elle exprime l'énergie potentielle de l'eau du sol par rapport à celle de l'eau dans un état de référence. L'état de référence suppose généralement un hypothétique réservoir d'eau pure, à la pression atmosphérique, à la même température que celle de l'eau du sol (ou à toute autre température), et à une altitude constante [46].

Le concept de potentiel hydrique du sol est d'une importance fondamentale. Ce concept remplace la catégorisation qui prévalait au début des développements de la physique des sols et qui visait à reconnaître et à classifier les différentes formes de l'eau du sol, par exemple,

«l'eau gravitaire», «l'eau capillaire» et «l'eau hygroscopique». Le fait est que toutes les eaux contenues dans le sol, sont affectées par le champ gravitationnel, elles sont considérées comme «gravitationnelles». Sous une pression hydrostatique supérieure à la pression atmosphérique, le potentiel de l'eau du sol (en supposant qu'il n'y a pas d'effets osmotiques) est plus élevé que celui de l'état de référence, et il est donc considéré comme positif [47]. D'après la définition ou la terminologie de l'International Soil Science Society, le potentiel total de l'eau dans le sol est «la quantité de travail par unité de volume d'eau pure, nécessaire pour transporter de façon réversible, isotherme, à altitude constante et à la pression atmosphérique, une quantité infinitésimale d'eau depuis un état d'eau pure loin du sol, à celui d'eau interstitielle dans le sol non saturé». [48]

II.2.1. Rétention de l'eau dans le sol:

La capacité des sols non saturés à attirer et retenir l'eau est quantifiée par les courbes de rétention d'eau, qui en constituent une caractéristique essentielle. Ces courbes sont déterminées en soumettant un échantillon à un cycle de séchage et d'humidification par application de paliers de succion croissante, puis décroissante. A chaque étape, la mesure de teneur en eau se fait en annulant la pression d'air au sein de la cellule pour retirer rapidement l'échantillon à peser; l'échantillon est ensuite remplacé en cellule pour être soumis à l'étape suivante en succion, par application d'une autre pression d'air qui engendrera soit une infiltration, si elle est inférieure (chemin d'humidification), soit un drainage, si elle est supérieure (chemin de séchage). [49]

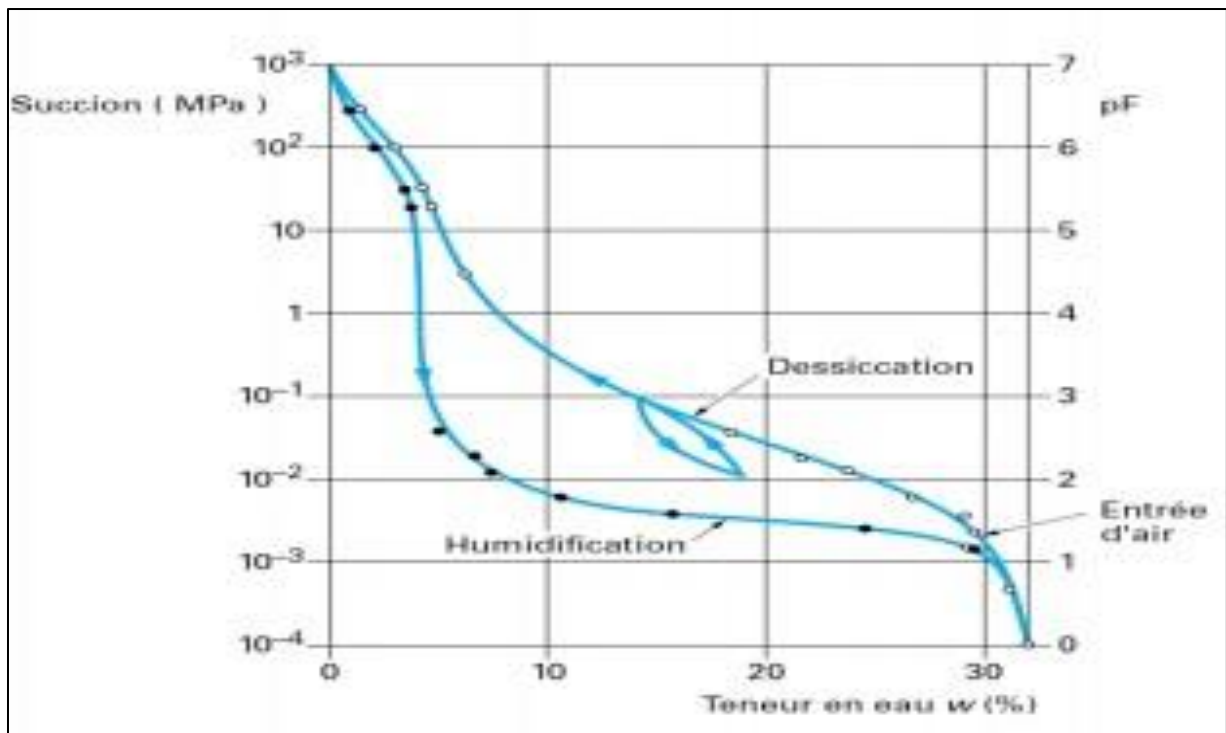


Figure (II, 03):Exemple de courbes de rétention d'un sable argileux.

Les résultats de Fleureau sont présentés à la figure (II, 03), selon cette figure nous remarquons que les courbes de rétention obtenues sur un sable, cette courbe représentant les chemins d'humidification-séchage, constitue une source d'information importante sur le comportement du sol en fonction de la succion, représentant la carte d'identité du sol, ont établi les courbes de rétention de 11 sols argileux, allant du limon naturel aux montmorillonites et kaolinites pures, sur des échantillons sous forme de pâte, consolidés ou compactés. [50]

II.2.1. Evolution géochimique de l'eau interstitielle:

En effet les argiles Champlain faisant partie des argiles dites «sensibles», et leur sensibilité étant liée à la chimie de l'eau qu'elles contiennent, de nombreuses études s'y sont rapportées. Il en ressort que la salinité de l'eau contenue dans les argiles est hautement variable. Des valeurs extrêmes de plus de 35 g/l à moins de 1 g/L ont été observées, [41] il existe non seulement une variabilité avec la profondeur mais également selon la localité. Il est même impossible de dégager une tendance régionale tant deux sites voisins peuvent présenter de différences. Sur celle-ci sont rapportés les résultats de trois études importantes qui ont déterminé les profils de salinité dans les argiles Champlain en de nombreux endroits. Par souci de clarté, seules sont présentées ici les valeurs les plus élevées de chaque profil (qui correspondent aux échantillons profonds). [42]

Comme nous l'avons vu précédemment, les argiles Champlain se sont déposées dans un environnement marin dont la salinité était importante, peut-être même assez proche de celle des océans actuels durant la phase hiattella. Nous avons également souligné que l'eau profonde est vraisemblablement restée assez salée même pendant les phases tardives. Or au moment de leur dépôt, les argiles emprisonnent cette eau, «fossilisant» ainsi sa salinité. Initialement la salinité de la couche au complet devait donc, être élevée et relativement homogène avec éventuellement une diminution au niveau des horizons les plus superficiels [47]. Les profils actuels de salinité sont donc la conséquence d'une perte de salinité, cette perte peut avoir été très importante notamment pour les sites qui possèdent actuellement des salinités inférieures à 1 g/l. L'origine d'un tel phénomène est, pour la plupart des auteurs, duales: l'advection et la dispersion. Voyons maintenant plus en détail la nature de ces phénomènes. [41, 42]

II.3.Sols argileux gonflants:

II.3.1. Adsorption-désorption:

II.3.1.1. Définition de l'adsorption:

L'absorption correspond à l'internalisation d'un liquide ou d'un gaz. L'exemple typique est celui de l'éponge s'imbibant de liquide. Au niveau de l'argile ce phénomène est passif, il se produit par capillarité, contrairement à l'absorption au niveau du tube digestif. Les argiles les plus absorbantes ne sont pas conseillées en usage interne. Le risque de constipation est trop important. Elles sont généralement utilisées comme capteur de liquide et d'odeur (entrent dans la composition des litières) ou comme détachant [51]. L'adsorption est une autre qualité des argiles. Contrairement au phénomène d'absorption qui internalise les molécules (à l'état liquide ou gazeux), l'adsorption correspond à la fixation de molécules en surface; elle s'applique également aux liquides et aux gaz. Cette fixation peut être ionique, électrostatique ou encore relative aux tensions superficielles. Deux types d'adsorptions sont identifiés.

Tableau (II, 03): pourcentage d'absorption d'argiles en fonction de leur poids.

Type d'argile	Pourcentage d'absorption de son poids
Attapulgite	40
Illite	25
Montmorillonite	20

II.3.1.2. Propriétés de l'adsorbant:

Pour déterminer si un contaminant sera adsorbé et selon quel ordre de grandeur, les propriétés suivantes de l'adsorbant doivent être considérées:

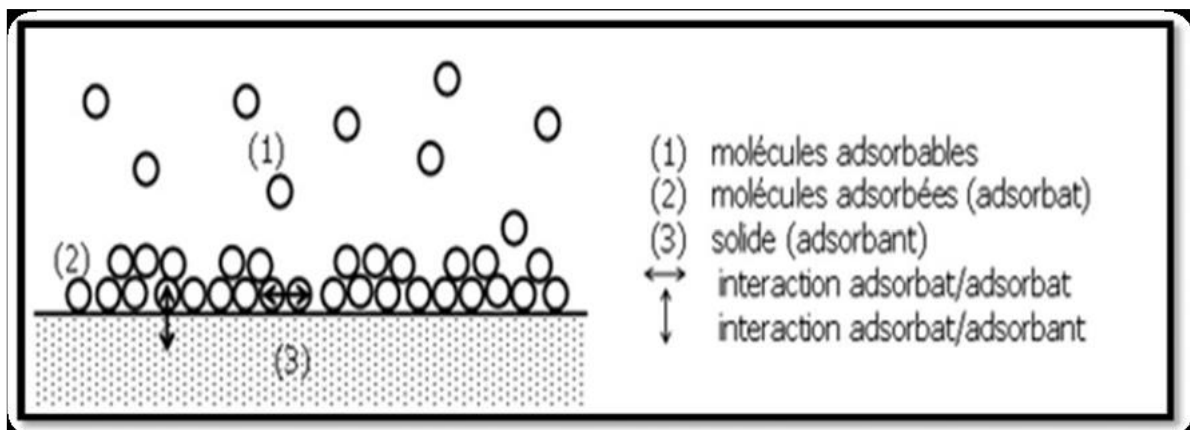
- La surface spécifique;
- La distribution des tailles de pores;
- La nature physico-chimique de la surface;
- Le pH: le taux d'adsorption est maximal au point isoélectrique de l'adsorbant (neutralité électrique).

II.3.1.3. Types d'adsorption:

On distingue deux types d'adsorption suivant la nature des liaisons entre le substrat et les particules adsorbées.

a) Physisorption (adsorption physique):

Elles sont des forces entre les molécules et le solide (type de Vander waals), elle provient de la dissymétrie des atomes de la surface du solide. [51]

**Figure (II, 04):** schéma de l'adsorption physique.

b) Chimisorption (adsorption chimique):

Dans laquelle le gaz et le substrat établissent des liaisons covalentes ou ioniques et créent des nouveaux espèces chimiques en surface. Lorsque la température augmente, la chimisorption va pouvoir avoir lieu sur certains sites privilégiés de la surface: les sites de chimisorption, habituellement la chimisorption est une adsorption activée, mais l'existence d'une énergie d'activation n'est pas un critère nécessaire de cette adsorption, car elle peut se produire sans elle, De plus l'absence d'une énergie d'activation n'est pas un indice nécessaire, de l'adsorption physique (adsorption non activée). L'adsorption activée se distingue de l'adsorption non activée, par le fait que le système consomme une certaine, quantité d'énergie qui est par la suite restituée quand l'adsorption aura lieu. En l'absence d'énergie d'activation les deux types d'adsorption sont distingués par le caractère de leur cinétique. [53]

c) Comparaison entre les deux types d'adsorption:

L'étude comparative entre les deux types d'adsorption selon les interprétations théoriques, qui peuvent justifier les résultats expérimentaux des travaux effectués sont résumés dans le tableau (II, 04). [54]

Tableau (II, 04): Comparaison des deux types d'adsorption.

Propriétés	Physisorption	Chimisorption
Liaisons	Van Der Waals	Chimique
Température du processus	Relativement basse	Plus élevée
Chaleur d'adsorption	1 à 10 Kcal.mol ⁻¹	> 10 Kcal.mol ⁻¹
Processus de désorption	Facile	Difficile
Cinétique	Très rapide	Lente
Formation de couche	Multicouches	Monocouche
Réversibilité	Réversible	Irréversible

L'adsorption est mesurable par les échanges ioniques, par la méthode CEC (capacité d'échange de cations). C'est une méthode colorimétrique à l'aide de bleu de méthylène

exprimée en milliéquivalents de colorant adsorbé pour 100g d'argile C'est de la charge positive de surface que découle une grande partie des propriétés des argiles. [51]

Tableau (II, 05): surface spécifique et capacité d'échange de cations de différentes argiles.

Minéral	Surface interne (m ² /g)	Surface externe (m ² /g)	Surface totale (m ² /g)	CEC (milliéquivalent/100g)
Kaolinite	0	10-30	10-30	5-15
Illite	20-55	80-120	100-175	10-40
Smectites	600-700	80	700-800	80-150
Vermiculite	700	40-70	760	100-150
Chlorite	-	100-175	100-175	10-40

Les argiles dont le pouvoir d'adsorption est optimal, elles peuvent donc adsorber des toxines, virus, bactéries, antibiotiques, acides organiques, gaz intestinaux, alcaloïdes,...etc. Et elles ont un rôle anti-infectieux par fixation des microorganismes qui seront ensuite éliminés dans les selles. Leur efficacité est démontrée pour certaines espèces bactériennes, également comme détoxiquant par élimination de toxines. [33]

II.3.2. Humidification et gonflement:

Dans des conditions ambiantes (de laboratoire ou in situ), les particules d'argile ne sont jamais totalement ou parfaitement sèches. Même après avoir été placées dans une étuve à 105°C pendant 24 h [55], les particules d'argile conservent encore des quantités appréciables d'eau adsorbée figure (II, 05). La forte affinité des surfaces d'argile pour l'eau est démontrée par le caractère hygroscopique des sols argileux: leur capacité de sorption et de condensation de la vapeur d'eau de l'air. L'air «soi-disant sec» du sol présente une teneur en eau de quelques pourcents, le pourcentage exact dépendant de la nature et de la quantité d'argile présente, ainsi que de l'humidité de l'air environnant.

A un état sec résultant d'un passage à l'étuve, l'eau associée à l'argile est si fortement liée qu'elle peut être quasiment considérée comme faisant partie intégrante de l'argile elle-même,

plus on ajoute d'eau dans le volume argileux (d'eau autour de chaque particule), plus la pellicule d'eau entourant la particule s'épaissit et l'eau rajoutée est de moins en moins liée.

L'ensemble du comportement physique d'un sol argileux (résistance, consistance, plasticité, conductivités thermique et hydraulique) est fortement influencé par le degré d'humification (c'est-à-dire, la polymérisation en composés organiques amorphes qui migrent ou se lient aux argiles et aux hydroxydes métalliques). L'eau est liée à la surface des argiles par des mécanismes comprenant l'attraction électrostatique, l'orientation des molécules d'eau vers des lieux chargés, ainsi que la liaison d'hydrogène aux atomes d'oxygène sur le feuillet argileux. [56]

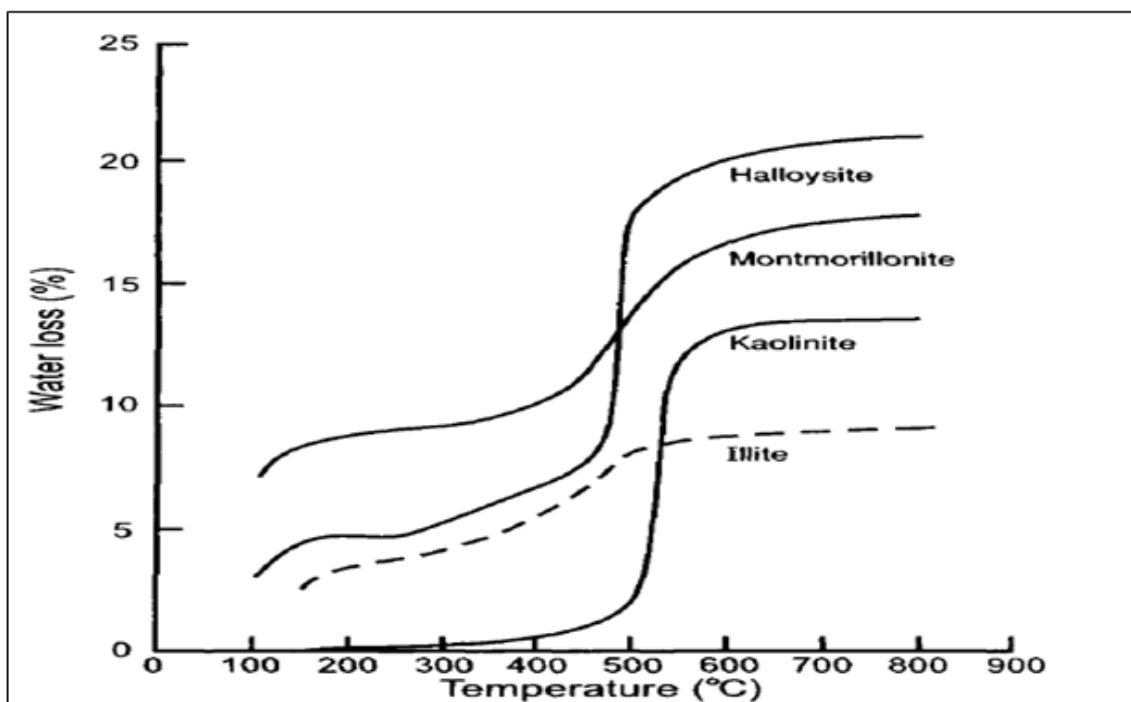


Figure (II, 05): exemple d'évolution de la teneur en eau en fonction de la température.

Un autre mécanisme d'humidification résulte de la présence de cations adsorbés. Les cations associés à l'argile ont également tendance à s'hydrater, ils contribuent donc à l'ensemble de l'humidification du système argileux. Quantitativement, cet effet dépend du type de cations présents et de la capacité d'adsorption des cations par l'argile. L'énergie d'adsorption d'eau est nettement plus grande pour la première couche de molécules d'eau, qui se fixent sur les sites hydrophiles représentés par les cations compensateurs, les groupes hydrophiles ou les cations de bords de feuillets. La jonction de ces sites hydrophiles hydratés forme un film d'eau mono moléculaire continu à la surface des particules. Puis sur ce film, apparaît le phénomène d'adsorption multicouche, correspondant à la superposition d'une couche mono

moléculaire d'eau [57]. La seconde couche est liée à la première couche par liaison hydrogène, et la troisième à la deuxième, et ainsi de suite, mais l'influence du champ de force d'attraction de la surface d'argile diminue avec la distance, de sorte qu'au-delà de quelques couches, le champ devient quasiment nul. [58]

II.4. Propriétés des eaux de mer:

II.4.1.Eau de mer:

C'est l'eau salée des mers et des océans de la Terre. On dit qu'elle est «salée» parce qu'elle contient des substances dissoutes, les sels, constitués d'ions, principalement des ions halogénures comme l'ion chlorure et des ions alcalins comme l'ion sodium. On trouve 30 à 40 g de sels dissous pour 1 kg d'eau de mer. L'eau salée s'oppose à l'eau douce, qui contient moins de 1 g de sels dissous par kilogramme. La masse volumique de l'eau de mer à la surface est d'environ 1,025 g/ml, supérieure de 2,5 % à celle de l'eau douce (1 g/ml) à cause de la masse du sel. [59]

II.4.2.Composition chimique:

L'eau de mer est composée d'eau et de sels, ainsi que de diverses substances en faible quantité. Si plus des deux tiers des 92 éléments chimiques naturels sont présents dans l'eau de mer, ces éléments sont en faible quantité et difficilement décelables. La salinité est un des paramètres les plus importants de l'eau de mer, et désigne la teneur en sels dissous. La salinité moyenne des océans est de 35 g/l, et reste généralement comprise entre 30 g/l (Atlantique nord) et 40 g/l (mer Rouge). Les mers intérieures ou assimilées ont une salinité supérieure, parce que l'évaporation y concentre le sel. Les exceptions concernent donc des mers fermées ou semi-fermées, comme pour les valeurs extrêmes de 6 g/l dans les eaux de surface de la mer Baltique et 330 g/l dans la mer Morte, la mer ouverte la plus salée est la mer Rouge. [60]

La grande particularité de l'eau de mer est que les proportions relatives de ses constituants sont sensiblement constantes (c'est-à-dire indépendantes de la salinité); cette propriété a été établie par le chimiste allemand William Dittmar, et permet de considérer l'eau de mer comme une solution de onze constituants majeurs dans de l'eau pure, à savoir, par ordre décroissant d'importance, le chlorure, l'ion de sodium, les sulfates, l'ion de magnésium, l'ion de calcium, l'ion de potassium, le bicarbonate, le bromure, l'acide borique, le carbonate et le fluorure. La loi de Dittmar permet ainsi de déterminer la salinité de l'eau de mer par une seule mesure de la concentration d'un de ces constituants ou d'une des propriétés physiques de

l'eau de mer à une température donnée (comme la densité relative, l'indice de réfraction ou la conductivité). Les deux principaux ions sont Na^+ et Cl^- , qui en s'associant forment le chlorure de sodium principal constituant du «sel marin», que l'on extrait dans les marais salants pour obtenir du sel alimentaire. Les gaz dissous comprennent principalement: 64 % d'azote, 34 % d'oxygène, 1,8 % de dioxyde de carbone (soit 60 fois la proportion de ce gaz dans l'atmosphère terrestre). L'odeur de mer est due, selon Andrew Johnston (université d'East Anglia), au sulfure de diméthyle (DMS). Il serait plus précis de dire que le DMS est un composant de l'odeur de la mer, un autre étant les phéromones (dictyoptérènes) de certaines algues. [61]

Tableau (II, 06): compositions chimique de l'eau de mer.

Constituants	Masse (%)	Constituants	Masse (%)
Oxygène (O)	85.84	Soufre (S)	0.0905
Hydrogène (H)	10.82	Calcium (Ca^{+2})	0.041
Chlore (Cl-)	1.935	Potassium (K^+)	0.040
Sodium (Na^{+2})	1.078	Brome (Br)	0.0067
Magnésium (Mg^{+2})	0.1284	Carbone (CO_2)	0.00245

II.4.3.Effet de l'eau de mer sur les sols:

Tiana.R.Ret al en 2015 ont été étudié l'effet de la salinité sur les différents types des sols en utilisant de:

- L'eau salée à différentes teneurs comme eau de compactage des matériaux du sol d'une région connue.

Ces études a pour but d'étudier les caractéristiques géotechniques du sol par ces essais:

- Limites d'Atterberg;
- L'essai au bleu de méthylène par la méthode de «test à la tâche»;
- L'essai Proctor modifié;
- L'essai CBR (California Bearing Ratio);

La figure ci-dessous présente des courbes granulométriques des échantillons des sols étudiés par les chercheurs déjà cité précédemment.

- Limon argilo- sableux de couleur rougeâtre (LAS rougeâtre)
- Limon sablo- argileux de couleur jaunâtre (LSA jaunâtre)
- Limon argileux de couleur marron (LA marron)

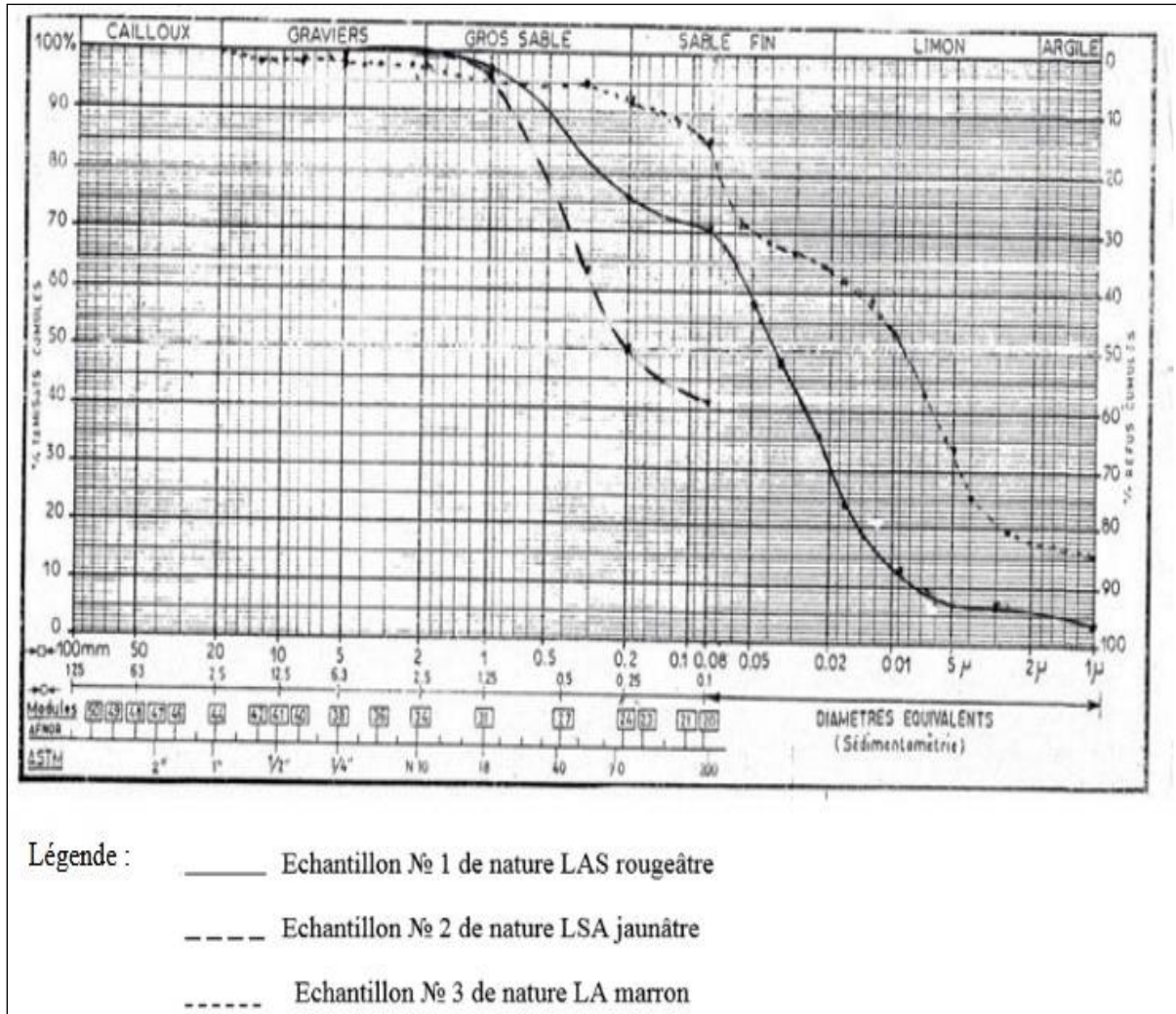


Figure (II, 06): la courbe d'essais granulométriques des trois types des sols.

Les résultats des essais ont été effectués par Tiana.R.R et al sont récapitulés dans le tableau suivant:

Tableau (II, 07): Propriétés géotechniques du sol obtenues à partir des essais précédents.

Paramètres	LAS rougeâtre	LSA jaunâtre	LA marron
Teneur en eau w (%)	4,1	2,3	34,4
Poids volumique des particules solides γ_s (KN/m ³)	26,87	26,75	30,44
Particules fines PF (%)	71	42	85
Limite de liquidité WL (%)	41,4	30,4	66,9
Limite de plasticité WP (%)	24,5	17,4	45,8
Indice de plasticité Ip (%)	17,0	13,0	21,1
Teneur en eau optimale Wopt(%)	18.6	11.4	Eau potable: 25,8 Eau de mer: 23,5
Poids volumique optimal γ_{dopt} (KN/m ³)	17.04	19.3	Eau potable: 16,48 Eau de mer: 16,84
Gonflement relatif(%) en fonction de la teneur en sel(g/l)	à 0g/l: 0,06 à 35g/l: 0,06 à 45g/l: 0,03	à 0g/l: 0,08 à 35g/l: 0,06 à 45g/l: 0,06	à 0g/l: 2,62 à 32g/l: 3,15
Indice portant CBR(%) en fonction de la teneur en sel (g/l)	à 0g/l: 22 à 35g/l: 15 à 45g/l: 12	à 0g/l: 31 à 35g/l: 22 à 45g/l: 13	à 0g/l: 13 à 32g/l: 4
Valeur au bleu du sol VBs	1.2	0.9	1.1

D'après les résultats du tableau (II, 07), on a constaté que la portance diminue lorsque la salinité augmente. D'autres parts, l'échantillon LA marron est beaucoup plus influencé par

cette diminution. LAS rougeâtre aussi est plus influencé par rapport à LSA jaunâtre. Les types de sol jouent un rôle important sur l'influence de la salinité de l'eau de compactage:

- Plus le pourcentage de particules fines du sol est élevé, plus l'influence de la salinité de l'eau de compactage est importante: à 85% de fines, LA marron a une portance très faible parmi les trois types de sol considérés lorsque l'eau de compactage utilisée est l'eau de mer (32g/l de sel); de plus LAS rougeâtre aussi, à 71% de particules fines, a un indice de portance plus faible par rapport à LSA jaunâtre lorsque la salinité augmente.
- Plus le sol est plastique, c'est-à-dire sa quantité d'argile est élevée, plus son indice de portance CBR diminue lorsque le taux du sel dans l'eau de compactage augmente: la portance de LA marron qui a un indice de plasticité le plus grand ($I_p = 21\%$) est le plus faible, suivie par LAS rougeâtre ($I_p = 17\%$) et enfin LSA jaunâtre ($I_p = 13\%$). Et même, lorsqu'un type de sol présente un pourcentage élevé d'argile, son indice portant est faible par rapport à celui qui contient un pourcentage faible d'argile, tout en utilisant de l'eau potable. Ainsi, l'utilisation de l'eau saline dans les opérations de compactage affecte beaucoup plus la portance du sol dont le pourcentage de fines est élevé. Le pourcentage de l'argile est très sensible à l'action de l'eau saline.
- Les valeurs au bleu des sols LAS rougeâtre et LA marron sont presque la même. Le taux d'activité de LAS rougeâtre est donc beaucoup plus élevé même si sa quantité d'argile est faible par rapport à celui de LA marron. L'activité d'argile de LA marron est faible même si sa quantité d'argile est élevée. Cela confirme la sensibilité de l'argile avec l'eau saline même si son activité est faible. [62]

Conclusion:

Dans ce chapitre, on a présenté la classification des sols argileux soit selon la couleur (verte, blanche, rose, rouge et jaune); ou en fonction de la structure chimique (chlorites, vermiculites, illites, kaolinite et bentonites). Plus encore, on a étudié les différentes caractéristiques des argiles, tel que la nature minéralogique des argiles, il s'agit généralement de silicates d'aluminium mais parfois de silicates de magnésium. Enfin, d'après les résultats de l'étude de Tiana.R.R et al, nous avons conclu que les portances sont toujours acceptables pour les sols (LAS rougeâtre et LSA jaunâtre), dont le pourcentage de fines ne présente pas un taux élevé, tandis que pour le sol (LA marron) dont le pourcentage d'argile est beaucoup plus élevé, la portance est faible du fait de la sensibilité de cette argile à l'eau saline même si son activité n'est pas vraiment élevée. La diminution de la portance pour ces types de sol est encore beaucoup plus élevée, lorsque la salinité de l'eau de compactage augmente.

Chapitre III: Etude expérimentale

III.1.Introduction:

Les essais d'identification sur des sols utilisés dans une étude géotechnique est une étape inévitable, ce chapitre, traite les essais sur les argiles utilisés, a pour objet de déterminer les caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques selon les normes préconisées. Ces essais ont été effectués au laboratoire du département génie civil de l'université de Jijel, et au laboratoire des travaux publics Est (LTPE).

III.2.Matériaux utilisées:

III.2.1. Sols argileux:

Les sols argileux utilisés sont:

- Le schiste de classe granulaire (0/5) mm et la marne de classe granulaire (0/5) mm dans la zone dite El Aouana - Jijel.
- L'argile plastique de classe granulaire (0/5) dans la zone dite Achouat - Jijel.

Pour la détermination des caractéristiques des sols précédemment cités, les essais sont réalisés au LTPE et au laboratoire dans notre université, et selon les normes européennes présentées au tableau (III, 01).

Tableau (III, 01): normes des essais d'identification et mécanique sur les sols argileux.

NF P94- 050	Teneur en eau de sol
NF P94-053	Détermination de la masse volumique
NF P 18- 592	Essai au bleu de méthylène
NF P 18-560	Analyse granulométrique par tamisage
NF P 94-057	Essai granulométrique par sédimentation
NF P 94-051	La limite d'Atterberg
NF P 94-093	Essai Proctor normal

NF P94-071-1	Essai de cisaillement direct à la boîte
NP P 94-091	Essai oedométrique

III.2.2. Eau potable:

Généralement, l'eau potable est propre ne nécessite aucun essai d'analyse, il se caractérise par des propriétés physico-chimiques acceptables pour faire les essais géotechniques, l'eau utilisée est l'eau potable de robinet de la ville de Jijel. Le tableau ci-dessous résume les analyses chimiques de l'eau utilisée.

Tableau (III, 02): résultats des analyses chimiques de l'eau potable.

	Unité	Eau potable
pH	-	7,45
Calcium (Ca⁺²)	mg/l	25,60
Magnésium (Mg⁺²)	mg/l	10,69
Potassium (K⁺)	mg/l	6,09
Sodium (Na⁺)	mg/l	158,13
Chlorures (Cl⁻)	mg/l	245,31
Sulfates (SO₄⁻²)	mg/l	14,95

III.2.3. Eau de mer:

Le tableau (III, 03) présente les analyses chimiques de l'eau de mer de la ville de Jijel. Cette l'eau est caractérisée par un haut degré de salinité, dont le pH est légèrement basique, cette eau est agressive et contient un excès de minéraux bicarbonates ($4 < \text{pH} < 8,5$) [63]. D'après la norme européenne NF P 18-011, cette eau est moyennement agressive étant donné qu'il a une teneur de sulfatede1449 mg/l, et de teneur de magnésium est entre300 à 3000 mg/l[64]. Plus encore, cette l'eau est caractérisée par une forte teneur en chlorures par rapport à l'eau potable.

Tableau (III, 03): résultats des analyses chimiques de l'eau de mer.

	Unité	Echantillon des eaux de mer
pH	-	8,05
Salinité	mg/l	4900
Calcium (Ca⁺²)	mg/l	475
Magnésium (Mg⁺²)	mg/l	1366
Potassium (K⁺)	mg/l	460
Sodium (Na⁺)	mg/l	10400
Chlorures (Cl⁻)	mg/l	20346
Sulfates (SO₄⁻²)	mg/l	1449

III.3. Essais d'identification des sols utilisés:

III.3.1. Teneur en eau de sol (NFP94- 050):

III.3.1.1. Définition:

La teneur en eau d'un sol est le paramètre d'état fondamental de son comportement. Elle est définie par le rapport du poids de l'eau au poids des particules solides d'un volume donné du sol. Cette grandeur est noté (W), et elle exprime en pourcentage:

$$W = \frac{M_w}{M_d}$$

- M_w : la masse de l'eau dans l'échantillon;
- M_d : la masse totale de l'échantillon sec.

III.3.1.2. Principe de l'essai:

Cet essai a pour objet de déterminer de la teneur en eau d'un sol au laboratoire, pour prévoir son comportement. Elle est déterminée lorsque les conditions de prélèvement sur site, de transport et de conservation de l'échantillon n'ont entraîné aucune modification de celle-ci.

III.3.1.3.Appareillage utilisée:

- Une balance électrique de précision;
- Une étuve électrique;
- Des tares.

III.3.1.4.Mode opératoire:

Cet essai a été effectué au labo LTPE par ces étapes:

- Peser les sols à l'état naturel;
- On note la masse humide (3) ou (sol humide + tare);
- Peser l'échantillon après l'étuvage, on note la masse sèche(4) (sol sec + tare);
- La différence entre (3) et (4) donne la masse de l'eau. [65]



Figure (III, 01): essai de la teneur en eau.

Tableau (III, 04): résultats obtenus pour l'échantillon de la marne.

Echantillons	M_{Tares} (g)	M_H (g)	M_d (g)	W(%)	W_{MOY} (%)
01	18	93	78	25,00	25,35
02	18	83	69	27,45	
03	18	72	61	25,58	
04	18	76	65	23,4	

D'après le tableau ci-dessus, la teneur en eau du sol étudié égal à 25,35 %.Donc, ce type de sol est humide.

Tableau (III, 05): résultats obtenus pour le schiste.

Echantillons	M _{tares} (g)	M _h (g)	M _d (g)	W(%)	Wmoy (%)
01	18	93	83	15.38	16.56
02	18	103	91	16.43	
03	18	104	91	17.80	
04	18	88	78	16.66	

D'après le tableau (III, 05), la teneur en eau de sol étudié égal 16.56 %.Donc, ce type de sol est peu humide.

Tableau (III, 06): Résultats obtenus pour l'argile plastique.

Echantillons	M _{tares} (g)	M _h (g)	M _d (g)	W(%)	Wmoy (%)
01	18	78.6	72.7	8.11	6.05
02	18	70.3	67.5	4.14	
03	18	61.9	57.6	7.46	
04	18	85.8	82.1	4.50	

D'après le tableau (III, 06), la teneur en eau de sol étudié égal 6.05 %.Donc, ce type de sol est sec.

III.3.2.Détermination de la masse volumique (NF P94-053) :

III.3.2.1.Définition de la masse volumique absolue

La masse volumique absolue ρ_a est la masse par unité de volume de la matière, qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

III.3.2.2.Appareillage utilisé:

- Un échantillon;
- Éprouvette graduée remplie d'eau;
- Une balance électronique;
- Une étuve électrique.

III.3.2.3.Méthode opératoire:

Cette méthode est très simple et très rapide, elle a été effectuée au laboratoire LTPE par l'utilisation d'une éprouvette graduée du volume V_1 d'eau.

- Peser un échantillon M du sol (environ 300g), puis l'introduire dans l'éprouvette remplie d'eau en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air;
- Lire le nouveau volume V_2 .

La masse volumique est calculée par la relation suivante:

$$\rho_s = \frac{M_s}{(V_2 - V_1)} \quad [66]$$



Figure (III, 02): Essai d'éprouvette graduée.

Tableau (III, 07): résultats de l'essai de la masse volumique absolue.

Echantillon	$M_s(g)$	$V_1(ml)$	$V_2(ml)$	$\rho_s (g/cm^3)$
Marne	300	500	650	2
Schiste	300	500	640	2.14
Argile	300	500	640	2.14

D'après les résultats obtenus, ces sols sont **très denses**.

III.3.3.Essai au bleu de méthylène (méthode à la tache) (P 18- 592):**III.3.3.1.But de l'essai:**

Cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins à adsorber du bleu de méthylène. Le bleu de méthylène étant adsorbé préférentiellement par les argiles, les matières organiques et les hydroxydes de fer, cette capacité rend compte globalement de l'activité de surface de ces éléments. On appelle valeur de bleu des fines, la quantité exprimée en grammes de bleu de méthylène adsorbée par 100 g de fines.

III.3.3.2.Principe de l'essai:

On injecte successivement des doses élémentaires d'une solution de bleu de méthylène dans le bain aqueux contenant la prise d'essai. On contrôle l'adsorption du bleu après chaque ajout, en effectuant une tache sur un papier filtre, les résultats sont mesurés par la relation suivante:

$$VBS = \frac{B}{M} \times 100$$

$$B = V \times 0.01$$

B: masse de bleu introduite dans le bêcher (en g);

M: masse sèche de la prise d'essai (en g);

V: est le volume de la solution de bleu utilisée (ml)

III.3.3.3.Matériels utilisés:

- Chronomètre;
- Balance;
- Tamis;
- Bêcher;
- Une burette;
- Papier filtre;
- Une baguette de verre;
- Un agitateur à ailettes, tournant entre 400 et 700 tr/min.
- Solution du bleu de méthylène de masse volumique $10 \text{ g/l} \pm 0,1 \text{ g}$, ce produit est utilisé pour une durée maximale de un mois; et elle doit être conservée à l'abri de la lumière.

- Eau déminéralisée ou distillée [67]

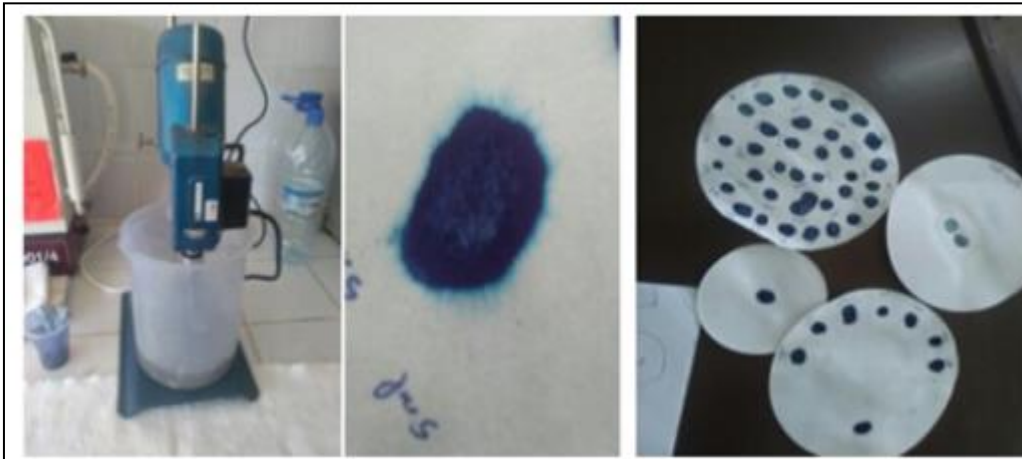


Figure (III, 03):Essai au bleu de méthylène (méthode à la tache).

Tableau (III, 08): classification des sols d'après l'essai de bleu de méthylène.

Echantillons	VBS	Classification des sols selon VBS
Marne	7.16	Classe A3, sols fins; Sols argileux.
Schiste	3.16	Classe A2, sols fins; Sols limoneux de plasticité moyenne.
Argile plastique	2.67	Classe A2, sols fins; Sols limoneux de plasticité moyenne.

III.3.4. Analyse granulométrique:

III.3.4.1. Analyse granulométrique par tamisage (NF P 94-056):

III.3.4.1.1.Principe de l'essai:

L'analyse granulométrique permet de déterminer la distribution en poids des particules d'un matériau suivant leurs dimensions. Elle présente les proportions relative des différents dimensions de particule, et permet d'identifie quelle fraction de sol control ses propriétés.

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis (mailles carrée), emboités les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis

et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis. Elle se fait par tamisage par voie sèche après lavage pour les sols dont les éléments supérieurs à 80µm et par sédimentation pour les éléments inférieurs ou égaux à 80 µm.

III.3.4.1.2.Appareillage:

- Des tamis de différents diamètres (5 mm - 0.08 mm);
- Un échantillon de 400g;
- Une balance;
- Une étuve thermostatique;
- Un vibro-tamis électrique.



Figure (III, 04): Granulométrie par tamisage.

III.3.4.1.3.Résultats et interprétations:

Les résultats de l'essai granulométrique des différents types des sols sont présentés aux tableaux (III, 10), (III, 11) et (III, 12). Les Coefficients de Hazen (ou coefficient d'uniformité C_u), et le Coefficient de courbure (C_c) sont calculés par les relations suivantes:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}}$$

Avec:

D60: Diamètre correspondant à 60% (tamisât);

D10: Diamètre correspondant à 10% (tamisât), Il est appelé aussi «diamètre efficace»;

D30: Diamètre correspondant à 30% (tamisât). [68]

Tableau (III, 09):description de sol en fonction du coefficient d'uniformité.

Coefficient d'uniformité (Cu)	Description de courbe
$Cu \leq 2$	Granulométrie très serrée
$2 < Cu \leq 5$	Granulométrie serrée
$5 < Cu \leq 20$	Granulométrie semi- étalée
$20 < Cu \leq 200$	Granulométrie étalée
$Cu < 200$	Granulométrie très étalée

Tableau (III, 10): les résultats de granulométrie (schiste).

Tamis (mm)	Masse refus cumulé R (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât cumulé p(%)
5	13.1	3.27	96.73
2	41.5	10.37	89.63
1	70.3	17.57	82.43
0.4	115.3	28.82	71.18
0.2	129.4	32.35	67.65
0.1	136.7	34.17	65.82
0.08	139.5	34.87	65.13

Tableau (III, 11): les résultats de granulométrie (argile).

Tamis (mm)	Masse refus cumulé R (g)	Refus cumulé r (%)	Tamisât cumulé p (%)
5	0	0	0
2	0	0	0
1	0.5	0.125	99.87

0.4	6	1.5	98.5
0.2	17.5	4.375	95.625
0.1	20.1	5.025	94.975
0.08	22.4	5.6	94.4

Tableau (III, 12) : Les résultats de granulométrie (marne)

Tamis (mm)	Masse refus cumulé R (g)	Refus cumulé r (%)	Tamisât cumulé p (%)
5	6	1.5	98.5
2	28.4	7.1	92.9
1	48.6	12.15	87.85
0.4	82.3	20.576	79.43
0.2	98	24.5	75.5
0.1	105.8	26.45	73.55
0.08	109.6	27.4	72.6

III.3.4.2. Essai granulométrique par sédimentation (NF P 94-057):

III.3.4.2.1.Principe de l'essai:

L'essai utilise le fait que dans un milieu liquide au repos, la vitesse de décantation des grains fins est en fonctions de leurs dimensions. La loi de Stokes donne, dans le cas de grains spécifiques de même masse volumique, la relation entre le diamètre des grains et leurs vitesses de sédimentation. Par convention, cette loi est appliquée aux éléments d'un sol pour déterminer des diamètres équivalents de particules.

III.3.4.2.2.Appareillage :

- Agitateur manuel et densimètre à torpille de plage 0.995 à 1.030;
- Agitateur mécanique de type plongeant à vitesse égale à 10000 tr/min avec;

- Récipient;
- Thermomètre à 0.5 °C;
- Chronomètre;
- Densimètre;
- Balance;
- Tamis 80 μm ;
- Bac;
- Etuve;
- Deux éprouvettes de 2000ml;
- Un mélange de l'eau distillée additionnée à un défloculant pour imbiber puis disperser l'échantillon. Ce mélange est constitué à partir de 440 cm^3 de l'eau distillée et de 60 cm^3 d'une solution à 5 % metaphosphate de sodium préparée et conservée à l'abri de la lumière, au moins, depuis un mois



Figure(III, 05):Appareillage d'analyse granulométrique par sédimentométrie.

III.3.4.2.3.Mode opératoire:

Cette essai a été effectué au laboratoire dans notre université, on a commencé par le tamisage de l'échantillon de sol au tamis de 80 μm , puis cette échantillons est préparé selon la norme NF P 94-056, et elle est recueillie avec son eau de lavage dans du bac, le tout est mis à décanter. Une fois redevenue claire, l'eau du bac est siphonnée sans entrainer d'éléments fins. Le bac est son contenu sont ensuite placés dans une étuve. Conventionnellement, l'évaporation de l'eau est considérée comme achevée si la masse du matériau contenu dans le bac ne varie pas.

de plus de 2/1000 entre deux pesées successives effectuées immédiatement après la sortie de l'étuve.

Sur le tamisât séché, désagrégé avec le pilon dans le mortier puis homogénéisé, prélever une prise d'essai de 80g (± 10 g). Introduire la prise d'essai dans le récipient utilisé avec l'agitateur mécanique, ajouter 500 cm³ du mélange spéciale et garder à la température ambiante. Laisser imbiber pendant au moins 15 h à la température ambiante. La prise d'essai est dispersée dans la solution d'eau est de défloculant au moyen de l'agitateur mécanique qui doit fonctionner pendant 3min minimum à 10000 tr/min. Verser la suspension dispersée dans une éprouvette d'essai immédiatement après la fin de l'agitation, compléter par de l'eau distillée jusqu'à 2000 cm³. Verser 2000 cm³ de la même eau distillée dans une seconde éprouvette témoin et y plonger le thermomètre et le densimètre parfaitement propre.

Plonger le densimètre avec précaution dans la suspension immédiatement après le déclenchement du chronomètre ; puis faire les lectures depuis le début de l'essai aussi longtemps que nécessaire, aux temps suivants: 0.5; 1; 2; 5; 10; 20; 40; 80; 240; 1440 minute. Faire les lectures du densimètre au sommet du ménisque. À partir de 5mn plonger le densimètre avec précaution dans la solution au minimum 30 S avant la mesure [69].



Figure (III, 06): Lecture du densimètre

III.3.4.2.4.Expression et des résultats:

Le pourcentage d'éléments inférieur ou égaux à D:

$$\rho = \frac{vs}{m} \times \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_e} \times \rho_e \left[\frac{\rho_t}{\rho_e} - 1 \right]$$

Vs: volume de la suspension ;

m: la masse de sol sec prélevée

ρ_t : masse volumique de la suspension au temps « t »

$$\rho_t = RC \times \rho_e = (R + c_m)$$

$$\rho_t = RC \times \rho_e = (R + C_m + C_t + C_d) \rho_e$$

Rc: lecture corrigée du densimètre à l'instant «t»

R: lecture du densimètre (sommet de ménisque) à l'instant « t »

Cm : correction due au ménisque .

$$C_m = n-1 \sum_{i=1}^{i=n} (R - R')_i$$

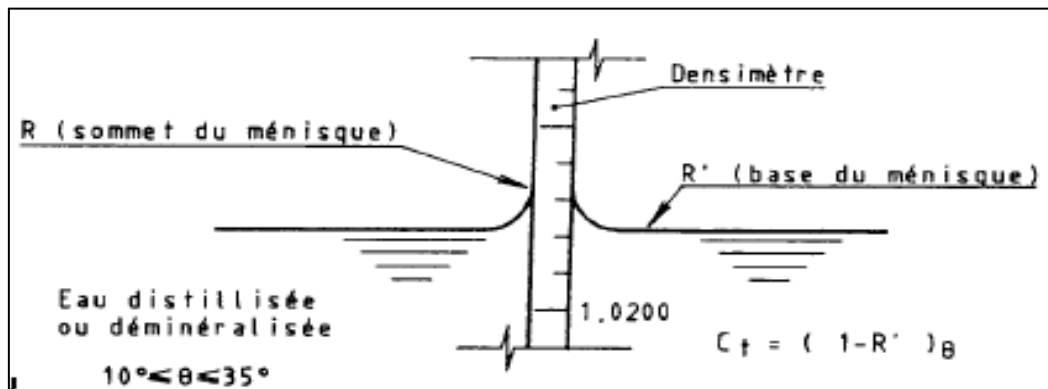


Figure (III, 07):lecture corrigé du densimètre.

Ct: correction due aux variations de température en cours d'essai; $C_t = 1 - R'$

Cd: correction due aux défloculant $C_d = R_1 - R_2$ (avec R1 lecture de ménisque à l'éprouvette de l'eau et $R_2 = R$ au même temps);

N: nombre des mesures effectuées.

Diamètre d'éléments D: selon la formule de Stokes, le plus large diamètre des particules solides en suspension dans l'eau à un temps «t» est déduit:

$$D = \sqrt{\frac{18\eta}{(\gamma_s - \gamma_e)}} \sqrt{\frac{Ht}{t}}$$

η : La viscosité dynamique de la solution à l'instant «t»;

Ht: Profondeur effective du centre de poussée du densimètre à l'instant «t»;

$$H_t = H - [100 H_1 (R + C_m - 1)] - H_c$$

Hc: le déplacement du niveau de la solution lié à l'introduction di densimètre dans l'éprouvette d'essai.

Tableau (III, 13): granulométrie par sédimentation (schiste).

Diamètres (μm)	21	15	10	6	4	3	2	2	1	1	0.4
Tamisât (%)	19.5	19.5	20.25	18	17.25	15.75	15	13.5	10.5	9	4.5

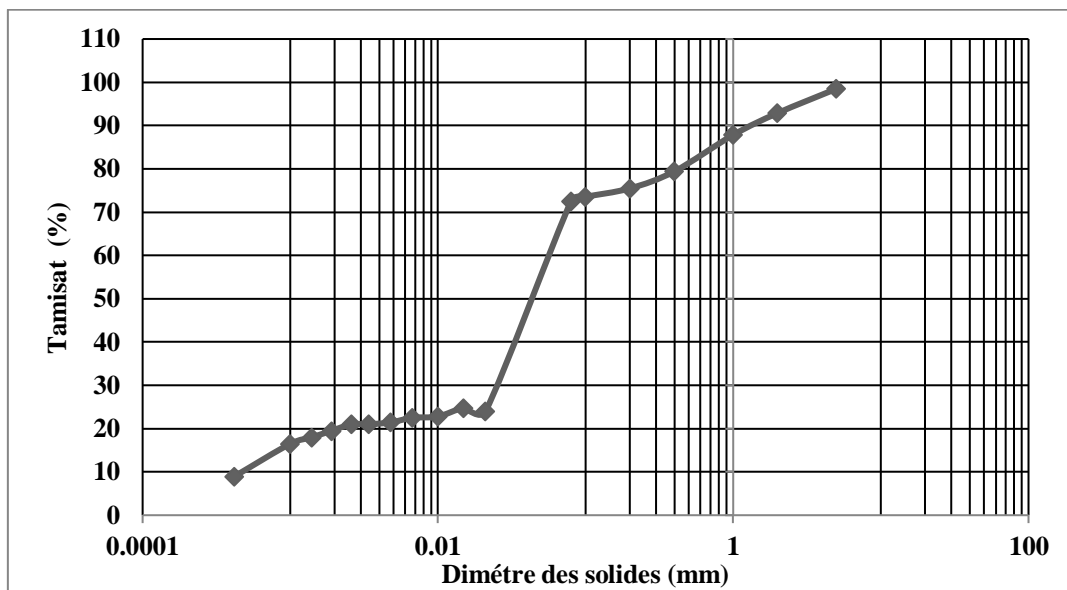


Figure (III, 08): courbe granulométrique (schiste).

Les diamètres effectifs de la courbe granulométrique sont:

$D_{10} = 0,0004 \text{ mm}$

$D_{30} = 0,03 \text{ mm}$

$D_{60} = 0,07 \text{ mm}$

Les coefficients de la courbe granulométrique sont:

$C_u = 70 < 200$ Courbe étalée

$C_c = 30 > 1$ Courbe est mal graduée et la continuité est mal Répartie

Tableau (III, 14): granulométrie par sédimentation (marne).

Tamis (µm)	21	15	10	6.7	4.8	3.4	2.6	1.9	1.4	1	0.42
Tamisât (%)	24	24,75	22.8	22.5	21.45	21	21	19.5	18	16.5	9

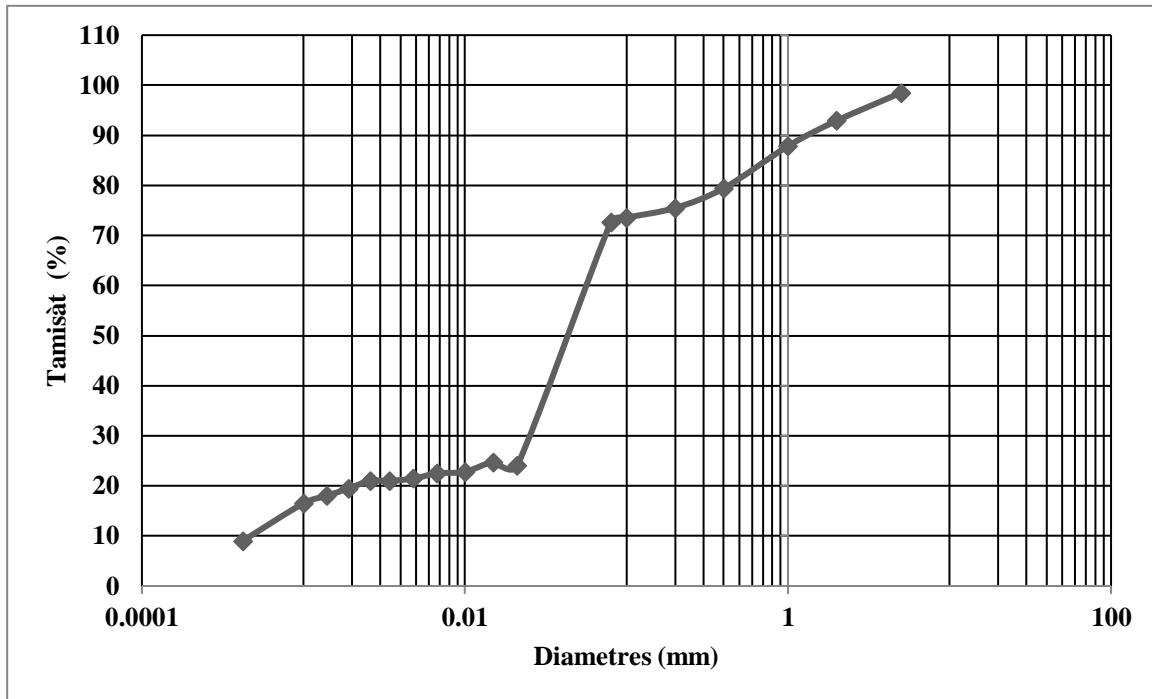


Figure (III, 09):courbe granulométrique (marne).

Les diamètres effectifs de la courbe granulométrique sont:

$D_{10}=0,0004 \text{ mm}$

$D_{30}= 0,002 \text{ mm}$

$D_{60}= 0,07\text{mm}$

Les coefficients de la courbe granulométrique sont:

$C_u=175 < 200$ Courbe étalée

$C_c=14.28 > 1$ Courbe est mal graduée et la continuité est mal Répartie

Tableau (III, 15): granulométrie par sédimentation (argile).

Tamis (µm)	15	14	10	6.5	4.6	3.3	2.8	1.9	1.3	0.9	0.43
Tamisât (%)	36	27	27.3	27.75	25.5	25.2	22.5	21.75	20.25	18	9.75

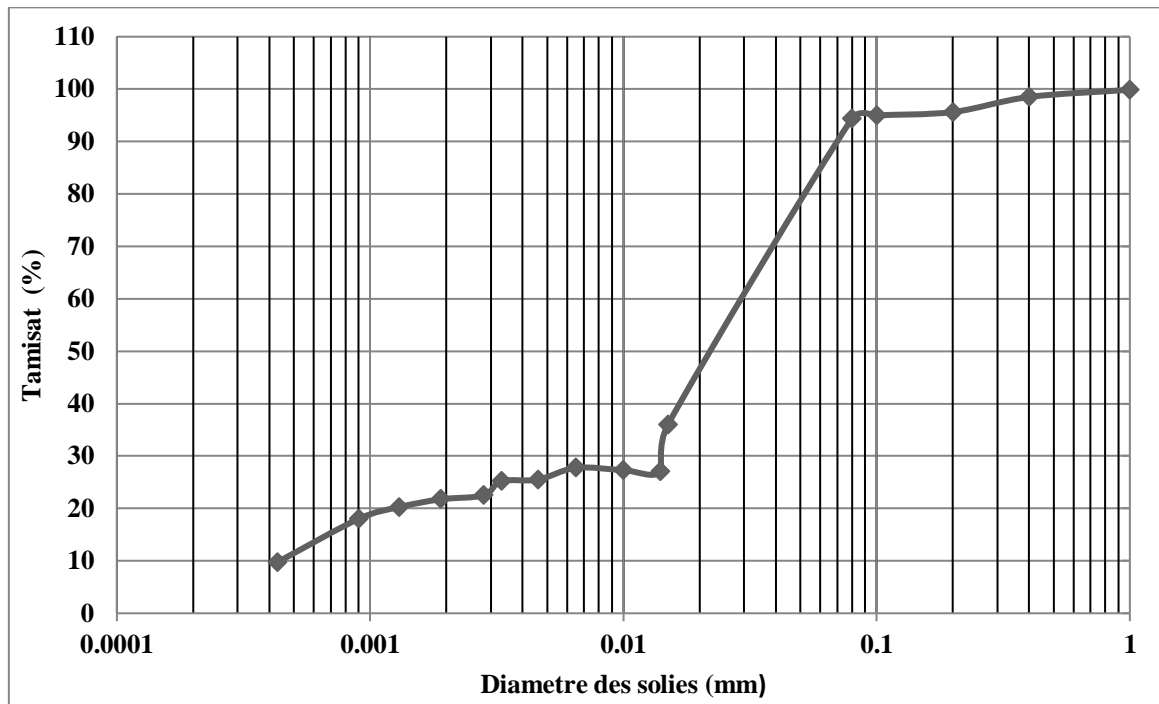


Figure (III, 10): courbe granulométrique (argile).

Les diamètres effectifs de la courbe granulométrique sont:

$D_{10} = 0,0004 \text{ mm}$

$D_{30} = 0,014 \text{ mm}$

$D_{60} = 0,03 \text{ mm}$

Les coefficients de la courbe granulométrique sont :

$C_u = 75 < 200$ Courbe étalée

$C_c = 16,33 > 1$ Courbe est mal graduée et la continuité est mal Répartie

III.3.5. La limite d'Atterberg (NF P 94-051):

III.3.5.1. Définitions:

Sont des teneurs en eau pondérales, caractéristiques du sol. Elles correspondent à des comportements particuliers de celui-ci sous l'action des variations de la teneur en eau. Ces limites sont déterminées sur la fraction de sol passant au travers du tamis $400\mu\text{m}$.

- **La limite de liquidité (W_L):** est une valeur de teneur en eau qui indique le passage du sol à l'état liquide, elle est obtenue théoriquement par une fermeture correspondant à

Négale25chocs.

- **La limite de plasticité (W_P)**: teneur en eau d'un sol remanié caractérisant la transition entre un état plastique et un état solide - le sol est durcit et se fissure.
- **Indice de plasticité (I_P)**: est une caractéristique du sol, indépendante de sa teneur en eau (cet indice définit l'étendue du domaine plastique du sol entre les limites de liquidité et de plasticité), donné par la relation suivante: $I_P = W_L - W_P$

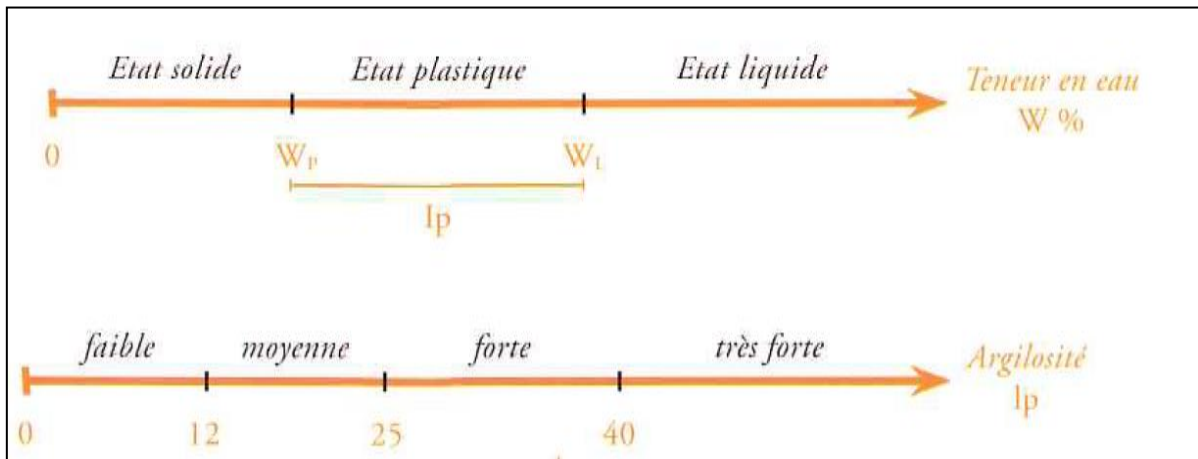


Figure (III, 11): représentation des limites d'Atterberg.

III.3.5.2. But de l'essai:

On détermine par cet essai les limites de liquidité et de plasticité d'un sol. Cet essai est réalisé sur la partie de sol fin. Les limites d'Atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état.

III.3.5.3. Matériels utilisés:

- Appareille de Casagrande;
- Outil a rainuré;
- Coupelle;
- Verres de montres tarés;
- Pissette;
- Spatule;
- Balance électronique;
- Etuve.

III.3.5.4. Mode opératoire :

Cet essai a été effectué au laboratoire dans notre département par suivre ces étapes:

- ❖ **Préparation du sol:** Après échantillonnage du sol une masse de matériau m est mise à imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h;
- ❖ **Pour déterminer limite de liquidité:** rempli la coupelle de casa grand d'une certaine manière avec l'échantillon;
 - Réaliser la rainure au milieu de la couple;
 - Soumettre la couple a une série de choc régulier;
 - Note le nombre de coups pour la rainure se referme sur 1cm environ;
 - Prélever à l'aide de la spatule un échantillon au voisinage de l'endroit au la rainure s'est refermée;
 - Mesurer la teneur en eau de cet échantillon.



Figure (III, 12):étapes de l'essai avec l'appareille de Casagrande.

❖ Pour déterminer limite de plasticité:

- Sécher le sol malaxant sur le marbre et en l'étalant;
- Former une boulette avec une partie de l'échantillon puis rouler à la main sur le marbre de façon à former un rouleau de 3 mm de diamètre et un largeur de 10/15 cm environ. Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette, le pote est denouveau malaxé tout en la séchant un peu;
- La limite de plasticité est obtenue quand le rouleau de 3mm sur 15cm et qu'il se fissure lorsqu'on le soulève de 1cm en son centre;
- Effectuer une mesure en eau de a rouleau [70].

Les résultats de l'essai limites d'Atterbergs seront présentés au chapitre IV.



Figure (III, 13): Détermination de la limite de plasticité.

III.3.6. Proctor normal (NF P 94 - 093):**III.3.6.1. Définition:**

Le compactage est l'ensemble des opérations mécaniques qui conduisent à accroître la densité en place d'un sol. Il augmente la compacité du sol, donc réduit ses possibilités de déformation et améliore sa capacité portante. Il agit en réduisant presque instantanément le volume du sol, essentiellement par réduction de volume des vides remplis d'air.

III.3.6.2. But de l'essai:

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale pour un sol de remblai donné, et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale.

III.3.6.3.Principe de l'essai:

Le principe de l'essai consiste à humidifier un sol à plusieurs teneurs en eau, et à la compacter selon un procédé et une énergie conventionnels. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérée, on détermine la masse volumique sèche du sol et on établit la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau. D'une manière générale, cette courbe appelée courbe Proctor optimale présente une valeur maximale de la masse volumique sèche, elle est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau.

III.3.6.4.Matériel nécessaire:

- Moule: CBR (éventuellement Proctor);
- Dame Proctor normal;
- Règle à araser;
- Disque d'espacement;
- Bacs d'homogénéisation pour préparation du matériau;
- Tamis 5 et 20 mm (contrôle et écrêtage le cas échéant de l'échantillon);
- Truelle, Spatule, pinceau,...etc;
- Éprouvette graduée 150 ml environ;
- Petits récipients (mesures des teneurs en eau);
- Balance;
- Étuve.

III.3.6.5.Mode opératoire:

Cet essai a été effectué au laboratoire des travaux publics Est (LTPE) Jijel suivant ces étapes:

- Le matériau à étudier est tamisé «granulométrie < 5mm»;
- Prendre environ 2,5Kg de matériau;
- Ajouter pour chacun une quantité d'eau;
- Placer la hausse sur le moule et donner 25 coups pour chaque couche;

- Compacter le sol en trois 03 couches d'argile à avoir la dernière débordant légèrement le haut de moule;
- Enlever la hausse et araser soigneusement le haut du moule;
- Peser le moule avec le sol;
- On prend de chaque cotés (au-dessus et au-dessous) de ce moule une quantité pour la détermination de la teneur en eau;
- Répéter l'essai pour des teneurs en eau croissante;
- Mettre les tares dans l'étuve pendant 24heures [71].

Les résultats de l'essai Proctor normal seront présentés au chapitre IV.



Figure (III, 14):Mode opératoire de l'essai Proctor.

III.3.7.Essai de cisaillement direct à la boîte de casagrande (NF P94-071-1):

III.3.7.1.Définition:

L'essai de cisaillement à la boîte permet de tracer la courbe intrinsèque du sol étudié, et de déterminer son angle de frottement interne φ et sa cohésion C. Ces valeurs servent entre autres à déterminer la contrainte admissible par le sol dans le cas de fondations superficielles, et la poussée du sol sur un mur de soutènement.

III.3.7.2.Principe de l'essai:

Dans l'essai de cisaillement à la boîte de casagrande, on cherche à provoquer la rupture de l'échantillon suivant un plan imposé. L'échantillon est placé dans une boîte constituée de deux parties qui peuvent glisser horizontalement l'une sur l'autre. On applique à l'échantillon

un effort normal de compression N , verticalement, par l'intermédiaire d'un piston et un effort tranchant T , horizontalement, en déplaçant la demi-boîte inférieure. Un comparateur mesure la variation de hauteur de l'échantillon, plusieurs essais sont effectués en faisant varier (σ) et en trace la courbe intrinsèque.

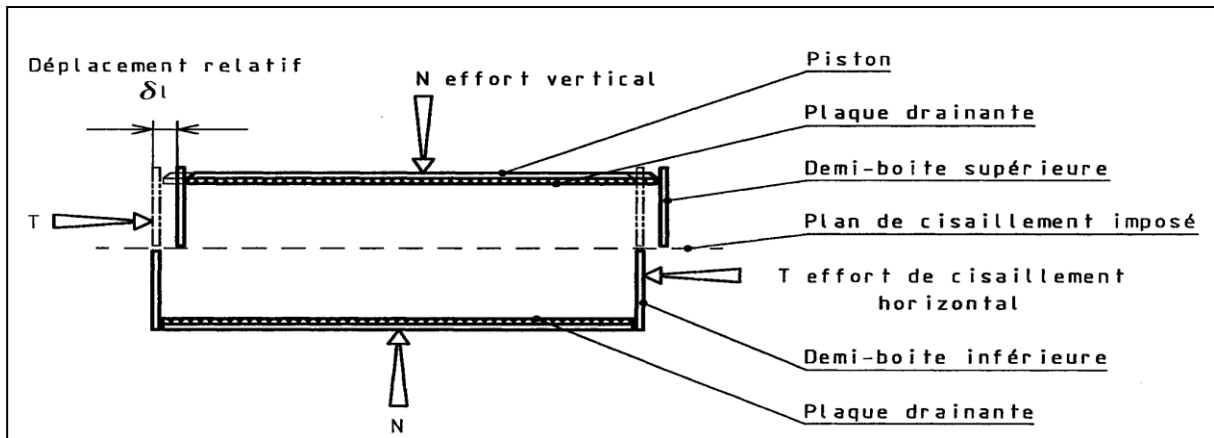


Figure (III, 15): principe de l'essai de cisaillement rectiligne à la boîte.

III.3.7.3.Appareillages:

- La machine de cisaillement à déformation contrôlés;
- La boîte de cisaillement;
- Les bâtis de consolidation comportent: un disque à l'extrémité sur lequel reposent les poids, une tige support le comparateur pour la mesure de tassement des éprouvettes d'essais;
- Les poids: Ce sont des disques métalliques plats;
- Étuve à 105°C;
- Un chronomètre donnant la seconde.

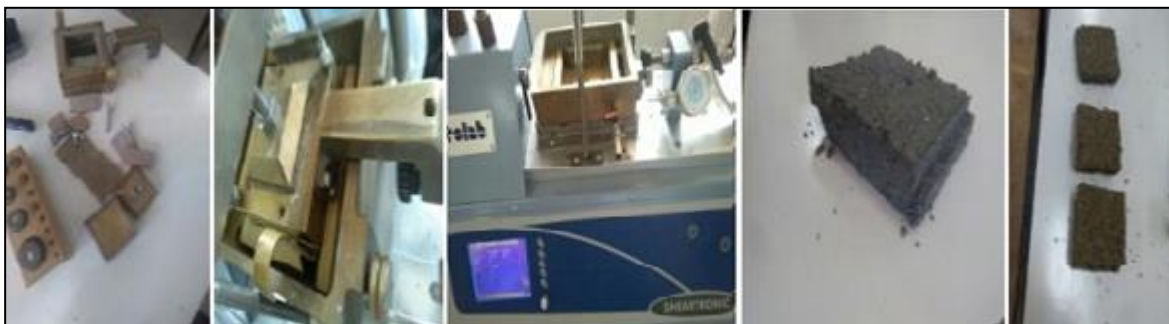


Figure (III, 16): étapes l'essai de cisaillement rectiligne à la boîte.

III.3.7.4. Mode opératoire:

L'essai s'effectue au laboratoire du département génie civil de l'université de Jijel, sur une éprouvette de sol placée dans un bâti de cisaillement constitué de deux demi-boîtes indépendantes. Le plan de séparation des deux demi-boîtes constitue un plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette. L'essai consiste à:

- Appliquer sur la face supérieure de l'éprouvette un effort vertical (N) maintenu constant durant la durée de l'essai ($\sigma = N/s$);
- Produire, après consolidation de l'éprouvette sous l'effort (N), un cisaillement dans l'éprouvette selon le plan horizontal de glissement des deux demi-boîtes l'une par rapport à l'autre en leur imposant un déplacement relatif à la vitesse constante;
- Mesurer l'effort (τ) correspondant ($\tau = T/S$);
- L'essai est réalisé sur une série d'au minimum 3 éprouvettes en faisant augmenter à chaque éprouvette la valeur de l'effort vertical (N). La contrainte verticale maximale appliquée à la série d'éprouvette, doit être supérieure à la contrainte effective verticale induite dans le sol après travaux [72].

Les résultats de l'essai de cisaillement direct à la boîte seront présentés au chapitre IV.

III.3.8. Essai oedométrique (NP P 94-091-1):**III.3.8.1. But de l'essai:**

Cet essai a pour but de déterminer des paramètres suivants:

- La contrainte effective verticale de consolidation;
- L'indice de compression (chargement, courbe vierge);
- L'indice de gonflement (décharge);
- Le coefficient de consolidation.

III.3.8.2. Principe de l'essai:

Dans cet essai chaque éprouvette du sol est placée dans une enceinte cylindrique rigide (Oedomètre) et un dispositif applique sur cette éprouvette un effort axial vertical maintenu constant. L'essai consiste à appliquer à chaque éprouvette une contrainte verticale différente et à mesurer sa variation de hauteur lorsqu'elle est mise en présence d'eau.

III.3.8.3. Appareillage utilisé:

L'oedomètre comporte les éléments suivants:

- Un bâti permettant d'appliquer les pressions de chargement sur les éprouvettes;
- Une cellule dans laquelle l'éprouvette est placée;
- Un système de mesure permettant de connaître les variations de hauteur de l'éprouvette en fonction du temps;
- Bâti-cellule oedométrique: la cellule oedométrique, en matériaux inertes chimiquement vis-à-vis de l'éprouvette et des fluides qu'elle contient, comporte les éléments suivants:
 - Une bague oedométrique ou enceinte cylindrique rigide qui reçoit l'éprouvette de sol.
 - Le diamètre intérieur D de la bague ou de la trousse coupante doit être supérieur ou égal à 50 mm et sa hauteur, telle que la hauteur initiale de l'éprouvette (H_0), soit comprise entre 10 mm et 0,4 fois son diamètre.
 - Un réservoir servant de bac d'imbibition muni d'un logement recevant la bague oedométrique ;
 - Un dispositif permettant de répartir l'effort appliqué sur l'éprouvette de sol par l'intermédiaire d'un disque cylindrique rigide de diamètre très légèrement inférieur, à celui de l'éprouvette et coulissant librement dans la hausse surmontant la bague ou la trousse coupante. Dans le cas d'utilisation d'un piston, ce dernier doit posséder en son centre, à sa partie supérieure, un logement pour la rotule transmettant l'effort axial;
 - Deux disques drainants rigides (pierres poreuses,...) plans et permettant la circulation des fluides.

III.3.8.4. Mode opératoire:

Les opérations décrites ci-dessous sont à réaliser successivement:

- Préparer les plaques drainantes;
- Introduire l'éprouvette dans la cellule;
- Placer la cellule sur le bâti oedométrique;
- Régler la position du capteur de mesure de déplacement vertical et noter la valeur d'origine;

- Remplir la cellule d'eau déminéralisée;
- Appliquer l'effort N sur la partie supérieure de la cellule;
- Entamer le déchargement par intervalle de 24 heures;
- Mesure le déplacement verticale jusqu' à stabilisation;
- Arrêter le chargement des que le sol est consolidé;
- Entamer le déchargement jusqu' à atteindre le poids mort du système d'application;



Figure (III, 17): Appareille d'oedométrique.

- Peser l'éprouvette;
- Déterminer sa teneur en eau;
- Déterminer sa teneur en eau finale;
- Faire les lectures depuis le début de l'essai, aux temps suivants: 1 min — 5 min — 30 min — 1 h — 2h — 4h — 8h — 24 h [73].

Les résultats de cet essai seront présentés au chapitre IV.

Conclusion:

L'eau potable utilisée pour faire les essais sur les sols d'étude est caractérisée par des propriétés physico-chimiques acceptables,

La marne utilisée dans cette étude est humide, très dense et d'une masse volumique absolue de 2 g/cm^3 , et selon la valeur du VBS est d'une classe A3 (sol argileux). D'autres parts, le schiste et l'argile plastique utilisés sont des sols très denses, dont des masses volumiques de $2,14 \text{ g/cm}^3$, et des classes A2 (sols limoneux de plasticité moyenne).

Chapitre IV: Résultats et interprétations

IV.1. Introduction:

Ce chapitre a pour but d'étudier l'influence du type d'eau (eau potable et l'eau de mer) sur les propriétés physique et mécanique des trois sols argileux (marne, schiste et argile peu plastique). Quatre essais ont été effectués aux laboratoires LTPE et laboratoire dans notre université pour atteindre cet objectif, ces essais sont: des limites d'Atterberg, Proctor normal, essai de cisaillement rectiligne à la boîte de Casagrande et l'essai Oedométrique.

IV.2. Résultats de l'essai des limites d'Atterberg:

Cet essai a été effectué au laboratoire LTPE par l'utilisation de l'appareil de Casagrande, a pour but de déterminer l'effet des différents types d'eau sur les sols argileux (marne, schiste et argile peu plastique).

IV.2.1. Essai sur la Marne:

La figure (IV, 01) montre la variation de la teneur en eau en fonction du nombre de coups à l'échelle semi- logarithmique:

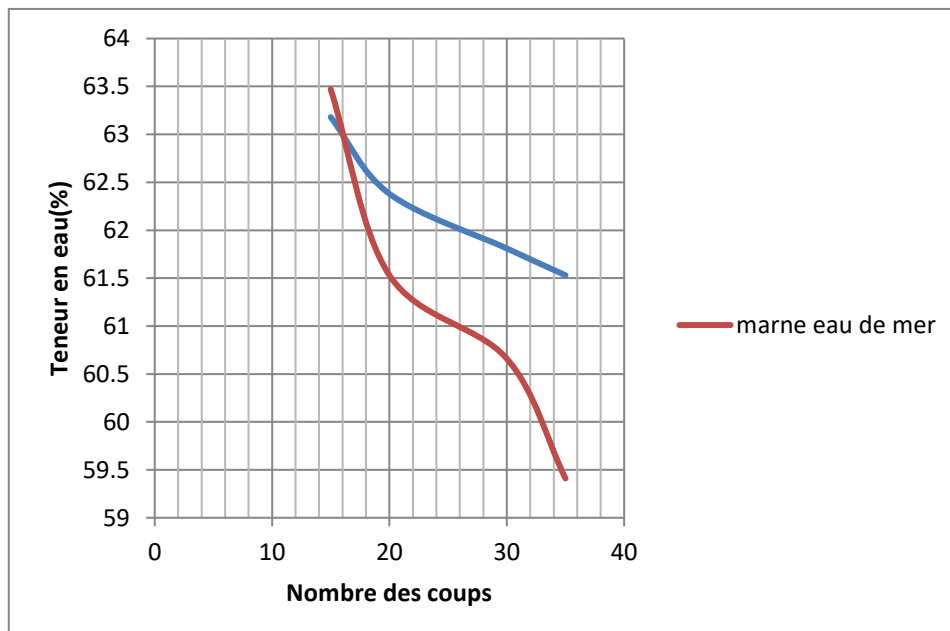


Figure (IV, 01): courbe de la limite de liquidité (Marne).

a) L'essai par l'eau potable:

D'après la figure (IV, 01) nous remarquons que $WL = 61,00\%$. L'essai de la limite de plasticité donne $W_P = 35,86\%$, donc l'indice de plasticité «IP» égal $25,14\%$.

b) L'essai par l'eau de mer:

D'après la figure (IV, 01), $WL = 62,22\%$. L'essai de la limite de plasticité donne $W_P = 32,91\%$, donc l'indice de plasticité «IP» égal $29,31\%$.

D'après la figure précédente, nous constatons que l'ajout de l'eau de mer dans un sol marneux provoque une augmentation de la limite de liquidité et une réduction de la limite de plasticité comparativement au sol marneux mélangé avec de l'eau potable.

IV.2.2.Essai sur le schiste:

La figure (IV, 02) montre l'évolution de la teneur en eau en fonction du nombre des coups à l'échelle semi- logarithmique:



Figure (IV, 02): courbe de la limite de liquidité (schiste).

a) L'essai par l'eau potable:

D'après la figure précédente, $W_L = 48,21 \%$. L'essai de la limite de plasticité donne $W_P = 26,83\%$, donc l'indice de plasticité « I_P » égal $21,38 \%$.

b) L'essai par l'eau de mer:

D'après la figure (IV, 02), $W_L = 51,00 \%$. L'essai de la limite de plasticité donne $W_P = 13,96\%$, donc l'indice de plasticité égal $37,04 \%$.

D'après la figure (IV, 02) nous remarquons que l'ajout de l'eau de mer dans le schiste provoque une augmentation de la limite de liquidité et une réduction de la limite de plasticité par rapport au schiste mélangé avec de l'eau potable.

IV.2.3.Essai sur l'argile (peu plastique):

La figure (IV, 03) montre la variation de la teneur en eau en fonction de nombre de coups à l'échelle semi- logarithmique:

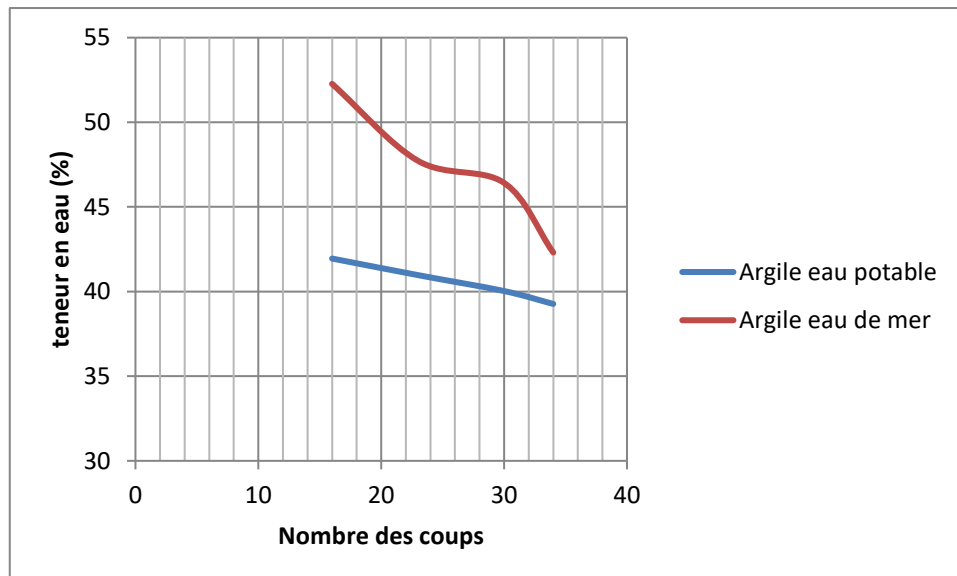


Figure (IV, 03): courbe de la limite de liquidité (argile peu plastique).

a) L'essai par l'eau potable:

D'après la figure (IV, 03), $W_L = 40,70 \%$. L'essai de la limite de plasticité donne $W_P = 26,85 \%$, donc l'indice de plasticité égal $13,85 \%$.

b) L'essai par l'eau de mer:

D'après la figure précédente, $W_L = 48.5 \%$. L'essai de la limite de plasticité donne $W_P = 23,62\%$, donc l'indice de plasticité égal 21.55% .

D'après les figures (IV, 03) nous constatons que l'addition de l'eau de mer dans une argile peu plastique implique une augmentation de la limite de liquidité et une réduction de la limite de plasticité comparativement à ce même type de sol mélangée avec de l'eau potable.

IV.2.4.Récapitulatifs des résultats obtenus:

Tableau (IV, 01): Tableau récapitulatif des résultats de l'essai de limite d'Atterberg.

	Marne		Schiste		Argile peu plastique	
	L'eau potable	L'eau de mer	L'eau potable	L'eau de mer	L'eau potable	L'eau de mer
Limite de liquidité WL	61.26	62.22	50.21	51.92	40.55	48.17
Limite de plasticité WP	35.86	32.91	26.83	13.96	26.85	23.62
Indice de plasticité IP	25.40	29.31	23.38	37.96	13.70	23.55

D'après les résultats obtenus, nous constatons que l'addition de l'eau de mer dans les trois sols argileux (marne, schiste et argile peu plastique) implique une augmentation des limites de liquidité et une réduction des limites de plasticité. Donc, on peut justifier cela par l'augmentation de la sensibilité à l'eau, ou ces argiles sont très sensibles à l'action de l'eau de mer. L'indice de plasticité augmente en présence dans l'eau mer par rapport à l'eau potable, cette augmentation est due à la diminution de la limite de plasticité, donc cette évolution provoque un déplacement du domaine de plasticité vers l'état sec.

IV.3. Résultats de l'essai de Proctor normal:

L'essai de Proctor normal a été effectué au laboratoire dans notre département par l'utilisation des trois types des sols argileux exécutés et avec différents pourcentages des deux types des eaux (eau potable et eau de mer). Les résultats dans cet essai sont présentés aux figures ci-dessous.

IV.3.1. Essai sur la Marne:

a) L'essai par l'eau potable:

La figure (IV, 04) présente la variation de la densité volumique sèche en fonction de la teneur en eau, donc les valeurs optimums sont: $W_{opt}=16.25\%$ et $\gamma_{dopt}= 1.63$.

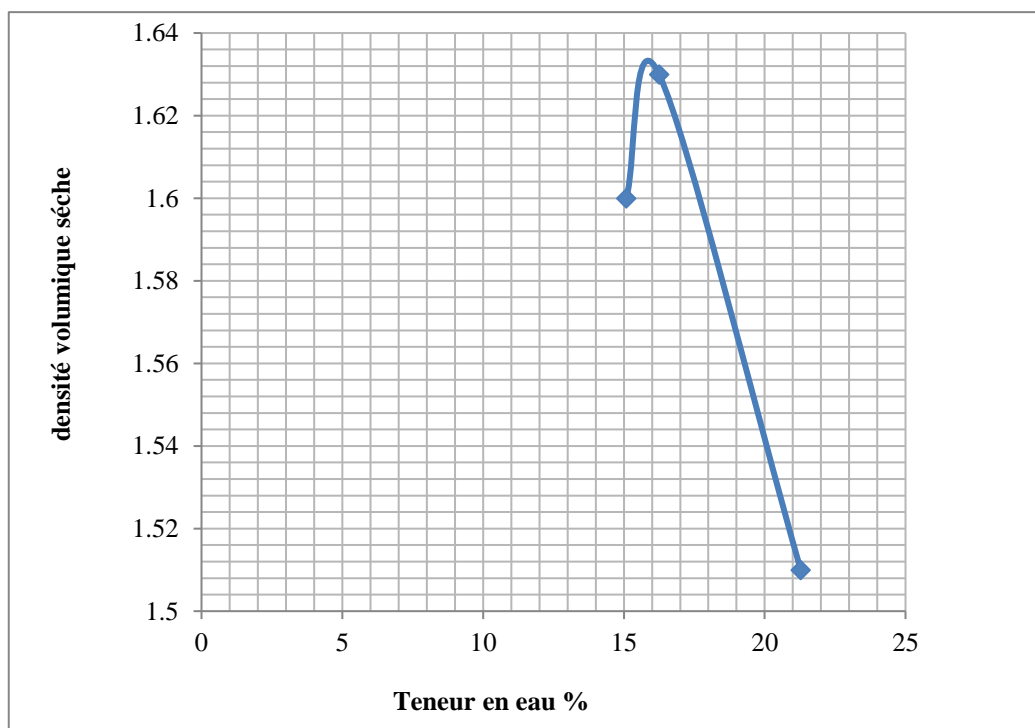


Figure (IV, 04): courbe de compactage (Marne+eau potable).

b) L'essai par l'eau de mer:

La figure (IV, 05) présente la variation de la densité volumique sèche en fonction de la teneur en eau, donc les valeurs optimums sont: $W_{opt} = 15.47\%$ et $\gamma_{dopt} = 1.67$.

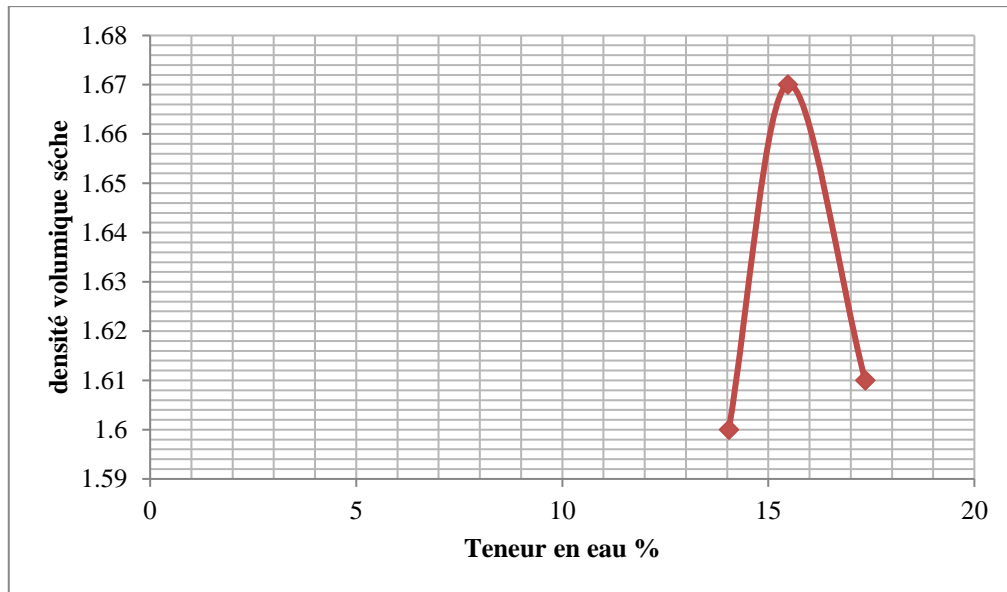


Figure (IV, 05): courbe de compactage (Marne+eau de mer).

D'après les figures (IV, 04) et (IV, 05), nous constatons que l'ajout de l'eau de mer dans un sol marneux implique une diminution de la densité volumique sèche et une augmentation de la teneur en eau optimum comparativement au sol marneux mélangé avec de l'eau potable.

IV.3.2. L'essai sur le schiste:

a) L'essai par l'eau potable:

La figure (IV, 06) présente l'évolution de la densité volumique sèche en fonction de la teneur en eau, et donne les valeurs optimums suivante: $W_{opt} = 17.84\%$ et $\gamma_d_{opt} = 1.71$

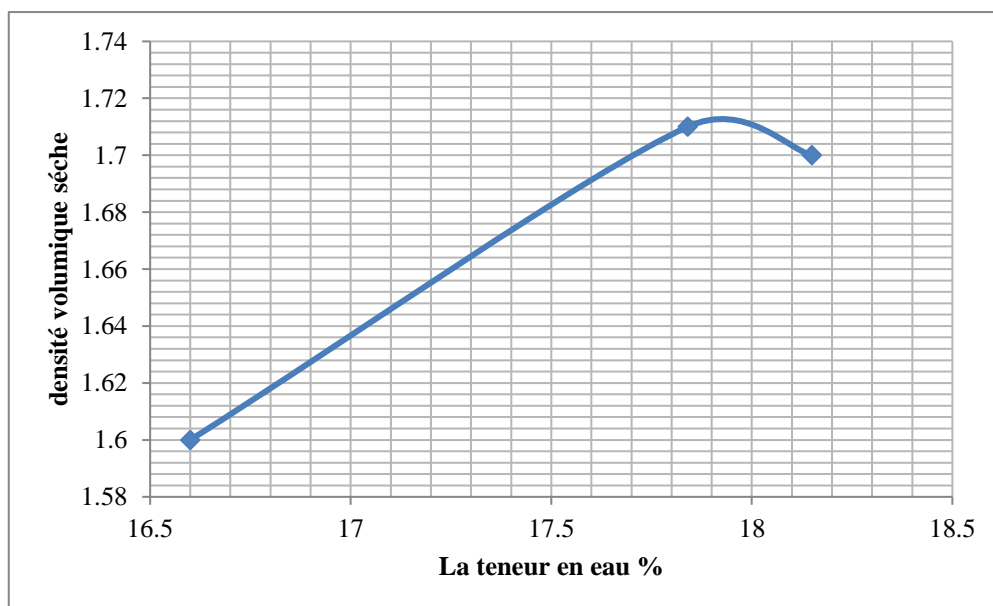


Figure (IV, 06): courbe de compactage (schiste +eau potable).

b) L'essai par l'eau de mer:

La figure (IV, 07) présente la variation de la densité volumique sèche en fonction de la teneur en eau, et donne les valeurs optimums suivantes: $W_{opt} = 17.06\%$ et $\gamma_d \text{ opt} = 1.87$.

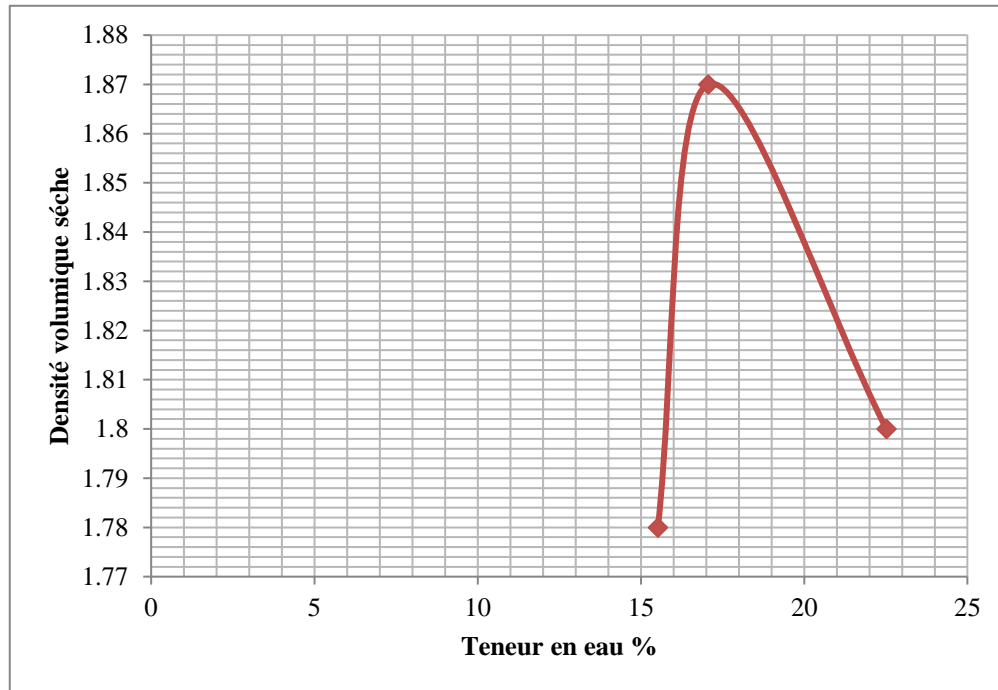


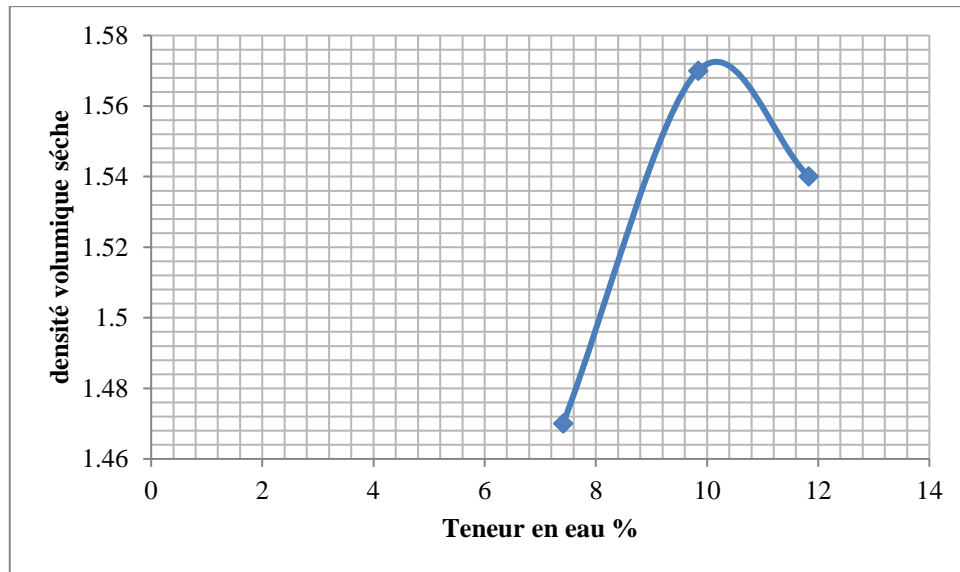
Figure (IV, 07): courbe de compactage (schiste +eau de mer).

D'après les figures précédentes, nous remarquons que l'ajout de l'eau de mer dans un sol schisteux provoque une diminution de la densité volumique sèche et une augmentation de la teneur en eau optimum par rapport au schiste mélangé avec de l'eau potable.

IV.3.3. L'essai sur l'argile (peu plastique):

a) L'essai par l'eau potable:

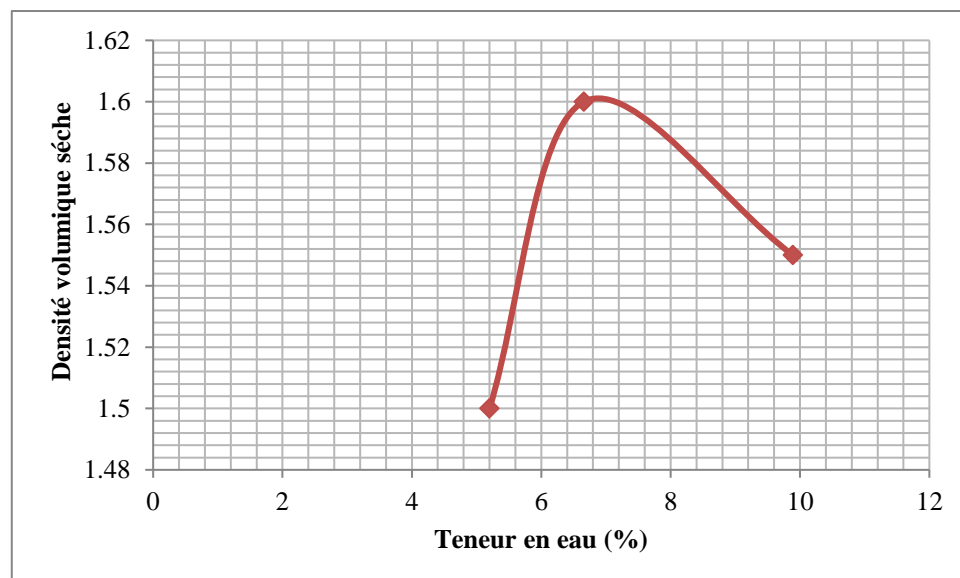
La figure (IV, 08) présente la variation de la densité volumique sèche en fonction de la teneur en eau, et donne les valeurs optimums suivantes: $W_{opt} = 9.84\%$ et $\gamma_d \text{ opt} = 1.57$.



La figure (IV, 08): courbe de compactage (Argile peu plastique+eau potable).

b) L'essai par l'eau de mer:

La figure (IV, 09) présente la variation de la densité volumique sèche en fonction de la teneur en eau, donc les valeurs optimums sont: $W_{opt} = 6.66\%$ et $\gamma_{dopt} = 1.60$.



La figure (IV, 09): courbe de compactage (Argile peu plastique + eau de mer).

D'après les deux figures ci-dessus, nous remarquons que l'ajout de l'eau de mer dans une argile peu plastique provoque une diminution de la densité volumique sèche et une augmentation de la teneur en eau optimum comparativement à ce même sol mélangé avec de l'eau potable.

IV.3.4. Récapitulatifs des résultats obtenus:

Tableau (IV, 02): Tableau récapitulatif des résultats de l'essai de Proctor normal.

	Marne		Schiste		Argile peu plastique	
	L'eau potable	L'eau de mer	L'eau potable	L'eau de mer	L'eau potable	L'eau de mer
W_{Opt}	16.25	15.47	17.84	17.06	9.84	6.66
γ_{dOpt}	1.63	1.67	1.71	1.87	1.57	1.60

D'après les résultats du tableau (IV, 02), nous remarquons que l'ajout de l'eau de mer dans les trois sols argileux (marne, schiste et argile peu plastique) cause une réduction de la densité volumique sèche et une augmentation de la teneur en eau optimum. Ces sols qui contiennent plus de 80 % des fines, donc on peut justifier cette réduction par l'effet de la salinité des eaux de mer sur les fines argileux, parce que plus le pourcentage de particules fines est élevé, l'influence de la salinité de l'eau de compactage est importante.

IV.4. Résultats de l'essai de cisaillement rectiligne à la boîte de Casagrande:

Cet essai a été réalisé au laboratoire dans notre université, a pour but d'étudier le comportement mécanique des trois types des sols argileux (marne, schiste et argile peu plastique), par l'utilisation de l'eau potable et de l'eau de mer. Les résultats de mesure de la cohésion (C) et de l'angle de frottement (φ) sont présentés aux figures ci-dessous.

IV.4.1. L'essai sur la marne:

a) L'essai sans ajoute (sec):

La figure (IV, 10) montre la ligne intrinsèque de la marne, après les calculs on a obtenu que la cohésion égale $C = 0.396$ bar et l'angle de frottement égal $\varphi = 23.98^\circ$.

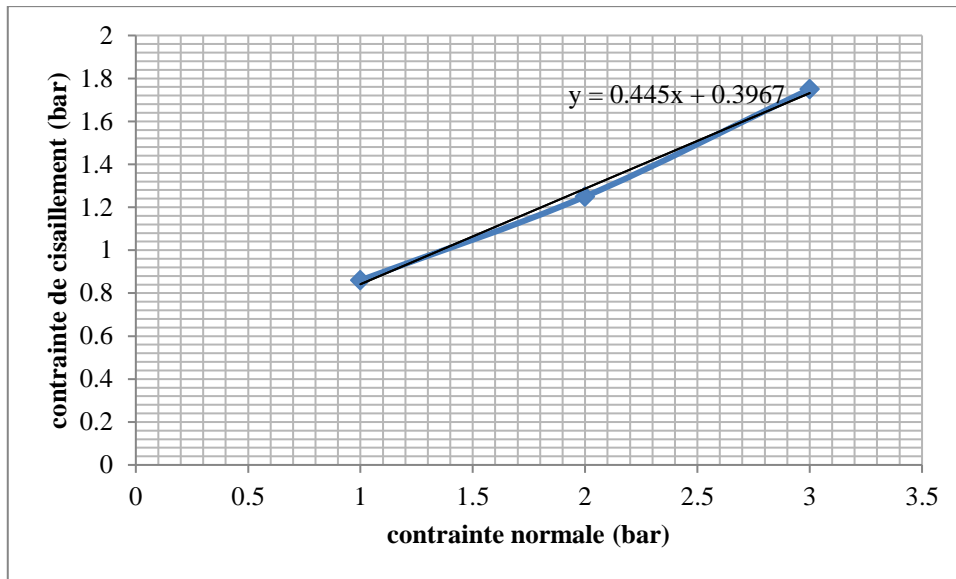


Figure (IV, 10): courbe intrinsèque de l'essai (marne à l'état sec).

b) L'essai avec l'ajoute (eau potable et eau de mer):

La figure (IV, 11) présente la ligne intrinsèque du mélange «marne» avec les deux types d'eau

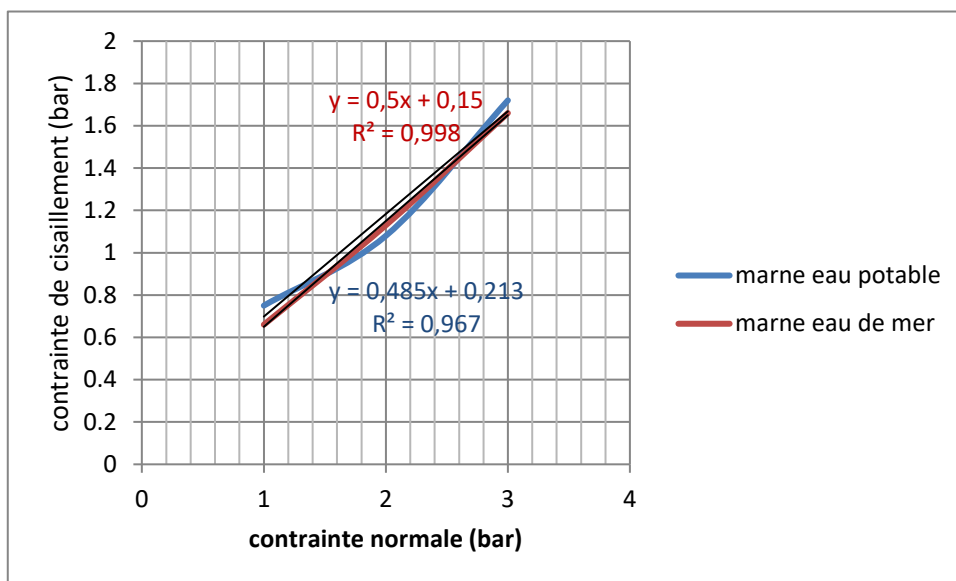


Figure (IV, 11) : courbe intrinsèque de l'essai (marne).

Après l'ajoute de l'eau potable on a obtenu les calculs suivants : la cohésion égale $C = 0.213$ bar et l'angle de frottement égal $\varphi = 25.87^\circ$.

Le mélange «marne + d'eau de mer», après les calculs on a obtenu que la cohésion égale

$C = 0.15$ bar et l'angle de frottement égal $\varphi = 26.56^\circ$.

D'après la figure précédente, nous constatons que l'ajout de l'eau de mer dans un sol marneux provoque une diminution de la cohésion et une légère augmentation de l'angle de frottement comparativement à ce sol mélangé avec de l'eau potable.

IV.4.2. L'essai sur le schiste:

a) L'essai à l'état sec:

La figure (IV, 12) présente la ligne intrinsèque de schiste, après les calculs on a obtenu que la cohésion égale $C = 0.37$ bar et l'angle de frottement égal $\varphi = 19.54^\circ$.

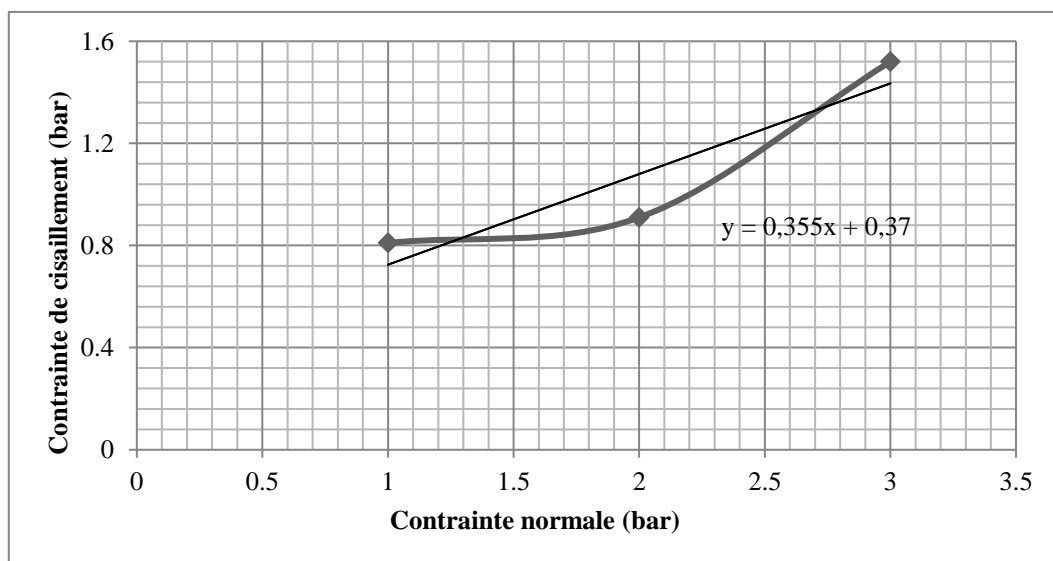


Figure (IV, 12): courbe intrinsèque de l'essai (schiste).

b) L'essai avec l'ajoute (eau potable et eau de mer):

La figure (IV, 13) montre la ligne intrinsèque du mélange «schiste avec les deux types d'eau »

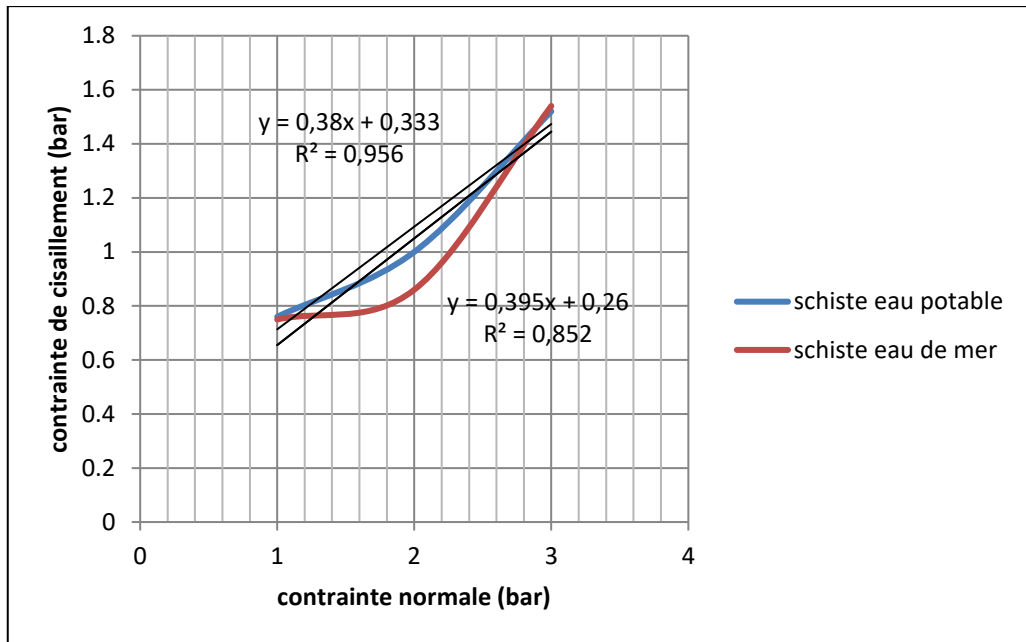


Figure (IV, 13): courbe intrinsèque de l'essai (schiste)

Après l'ajoute de l'eau potable on a obtenu les calculs suivants : la cohésion égale $C = 0.333$ bar et l'angle de frottement égal $\varphi = 20.80^\circ$.

Le mélange «schiste + l'eau de mer», après les calculs on a obtenu que la cohésion égale $C = 0.26$ bar et l'angle de frottement égal $\varphi = 21.55^\circ$.

D'après la figure (IV, 13) nous remarquons que l'ajout de l'eau de mer dans un sol schisteux provoque une diminution de la cohésion et une légère augmentation de l'angle de frottement comparativement à ce sol mélangé avec de l'eau potable.

IV.4.3.L'essai sur l'argile peu plastique:

a) L'essai à l'état sec:

La figure (IV, 14) présente la ligne intrinsèque de l'argile peu plastique, après les calculs on a obtenu que la cohésion égale $C = 0.483$ bar et l'angle de frottement égal $\varphi = 22.04^\circ$.

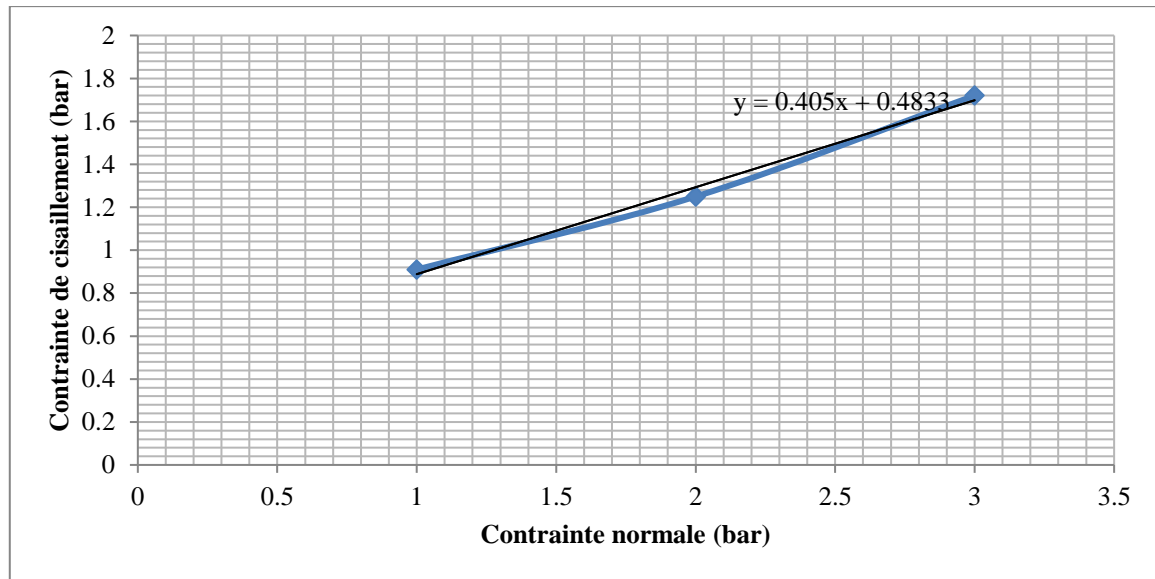


Figure (IV, 14): courbe intrinsèque de l'essai (argile peu plastique).

b) L'essai avec l'ajoute (eau potable et eau de mer):

La figure (IV, 15) montre la ligne intrinsèque du mélange «Argile peu plastique +les deux types d'eau»,

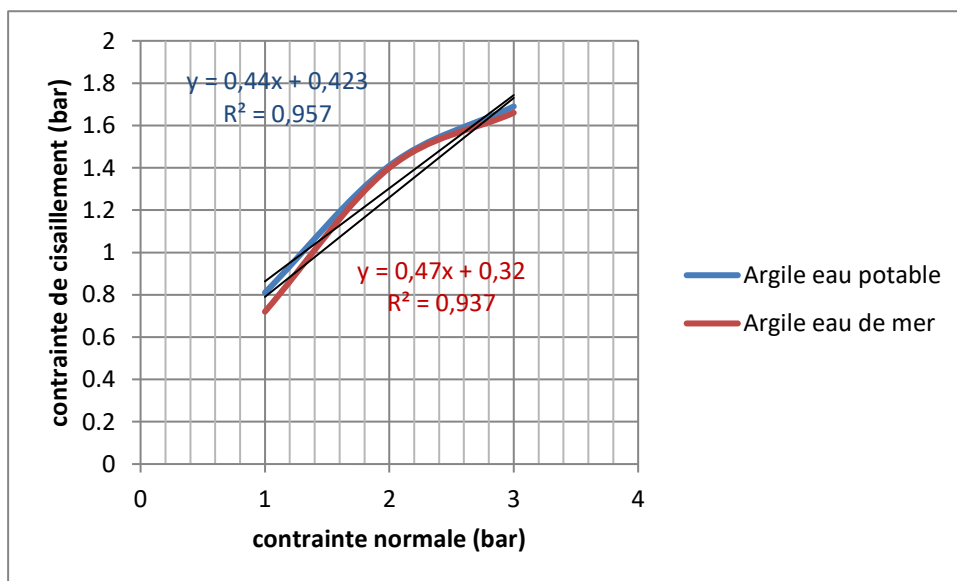


Figure (IV, 15): courbe intrinsèque de l'essai (Argile peu plastique)

Après l'ajoute de l'eau potable on a obtenu les calculs suivants : la cohésion égale $C = 0.423$ bar et l'angle de frottement égal $\varphi = 23.74^\circ$.

Le mélange «Argile peu plastique + eau de mer», après les calculs on a obtenu que la cohésion égale $C=0.32$ bar et l'angle de frottement égal $\varphi=25.17^\circ$.

D'après la figure précédente, nous constatons que l'ajout de l'eau de mer dans un sol argile peu plastique implique une diminution de la cohésion et une augmentation de l'angle de frottement comparativement au sol mélangé avec de l'eau potable.

IV.4.4.Récapitulatifs des résultats obtenus:

Tableau (IV, 03): Tableau récapitulatif des résultats de l'essai de cisaillement rectiligne à la boîte de Casagrande.

Type d'eau Type d'argile	eau potable	eau de mer	Sec
Marne	$C=0,21$ bar $\varphi=25,87^\circ$	$C=0,15$ bar $\varphi=26,56^\circ$	$C=0,39$ bar $\varphi=23,98^\circ$
Schiste	$C=0,33$ bar $\varphi=20,80^\circ$	$C=0,26$ bar $\varphi=21,55^\circ$	$C=0,37$ bar $\varphi=19,54^\circ$
Argile peu plastique	$C=0,42$ bar $\varphi=23,74^\circ$	$C=0,32$ bar $\varphi=25,17^\circ$	$C=0,48$ bar $\varphi=22,04^\circ$

D'après les résultats du tableau (IV, 03), nous remarquons que l'addition de l'eau de mer dans les trois sols argileux (marne, schiste et argile peu plastique) donne une diminution de la cohésion et une légère augmentation de l'angle de frottement. Donc, on peut dire que les sels des eaux de mer réagissent avec les fines argileuses, et provoquent des changements aux paramètres de cisaillement des sols argileux.

IV.5.Résultats de l'essai Oedométrique:

Cet essai a été effectué sur deux sols argileux (marne et le schiste), et par l'utilisation des deux types d'eau (eau potable et l'eau de mer) a pour objet de déterminer les paramètres suivants:

- La contrainte effective verticale de consolidation;
- L'indice de compression (chargement, courbe vierge);
- L'indice de gonflement (décharge);
- Le coefficient de consolidation.

IV.5.1. L'essai sur la marne:

a) L'essai par l'eau potable:

La figure (IV, 16) montre la courbe de compressibilité de la marne par l'utilisation de l'eau potable, après les calculs on a obtenu que le coefficient de compressibilité égal 0,068, le coefficient de gonflement égal 0,012 et la contrainte de consolidation égal 7,67 bar.

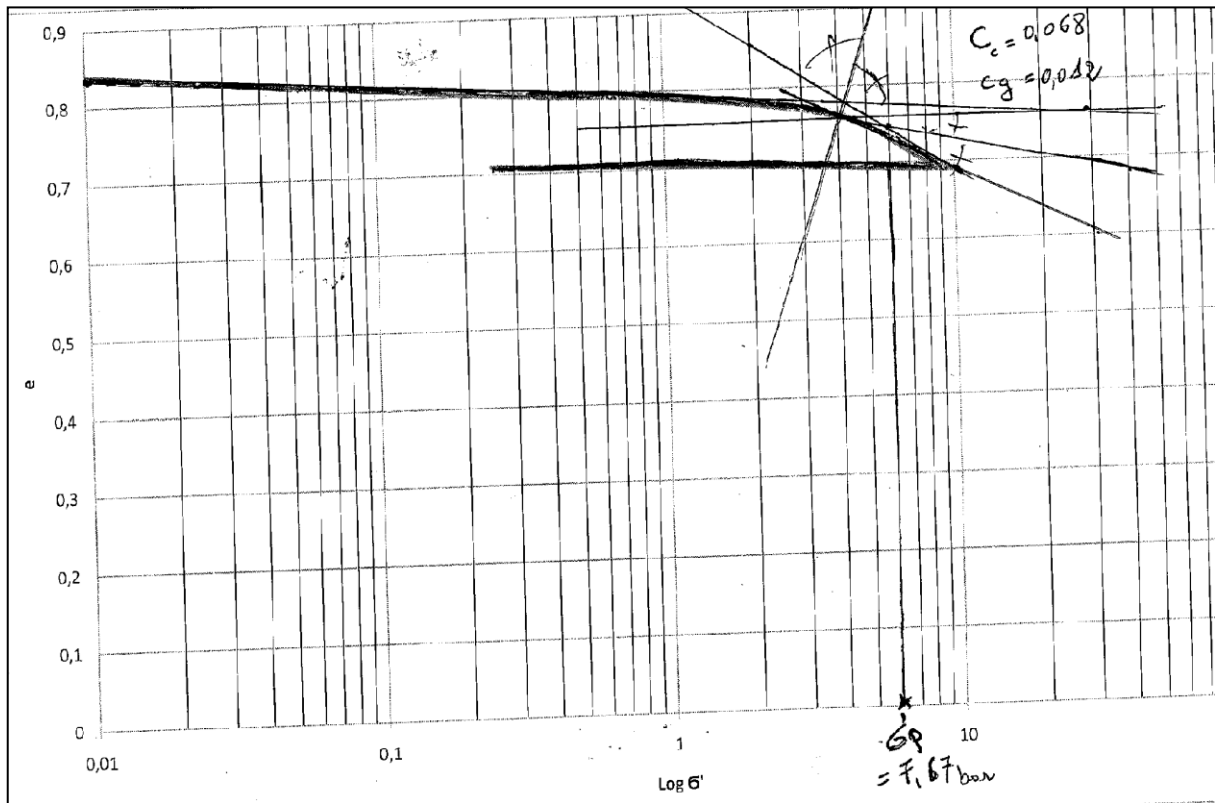


Figure (IV, 16): courbe de compressibilité (marne+eau potable).

b) L'essai par l'eau de mer:

La figure (IV, 17) montre la courbe de compressibilité de la marne par l'utilisation de l'eau de mer, après les calculs on a obtenu que le coefficient de compressibilité égal 0,293, le coefficient de gonflement égal 0,087 et la contrainte de consolidation égal 3,21 bar.

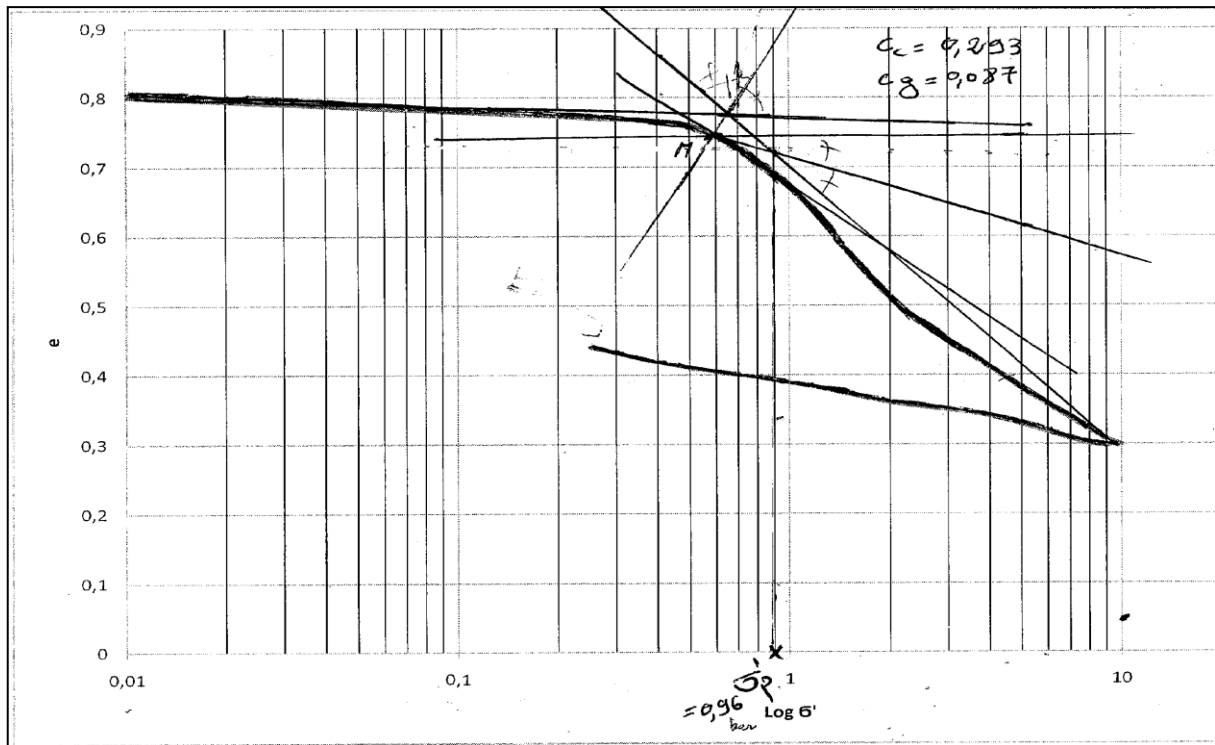


Figure (IV, 17): courbe de compressibilité (marne+eau de mer).

D'après les figures (IV, 16) et (IV, 17), nous remarquons que l'ajout de l'eau de mer dans un sol marneux provoque une diminution de la contrainte effective et l'augmentation des deux coefficients (C_c et C_g) comparativement à ce sol mélangé avec de l'eau potable.

IV.5.2. L'essai sur le schiste:

a) L'essai par l'eau potable:

La figure (IV, 18) présente la courbe de compressibilité de schiste par l'utilisation de l'eau potable, après les calculs on a obtenu que le coefficient de compressibilité égal 0,19, le coefficient de gonflement égal 0,05 et la contrainte de consolidation égal 0,81 bar.

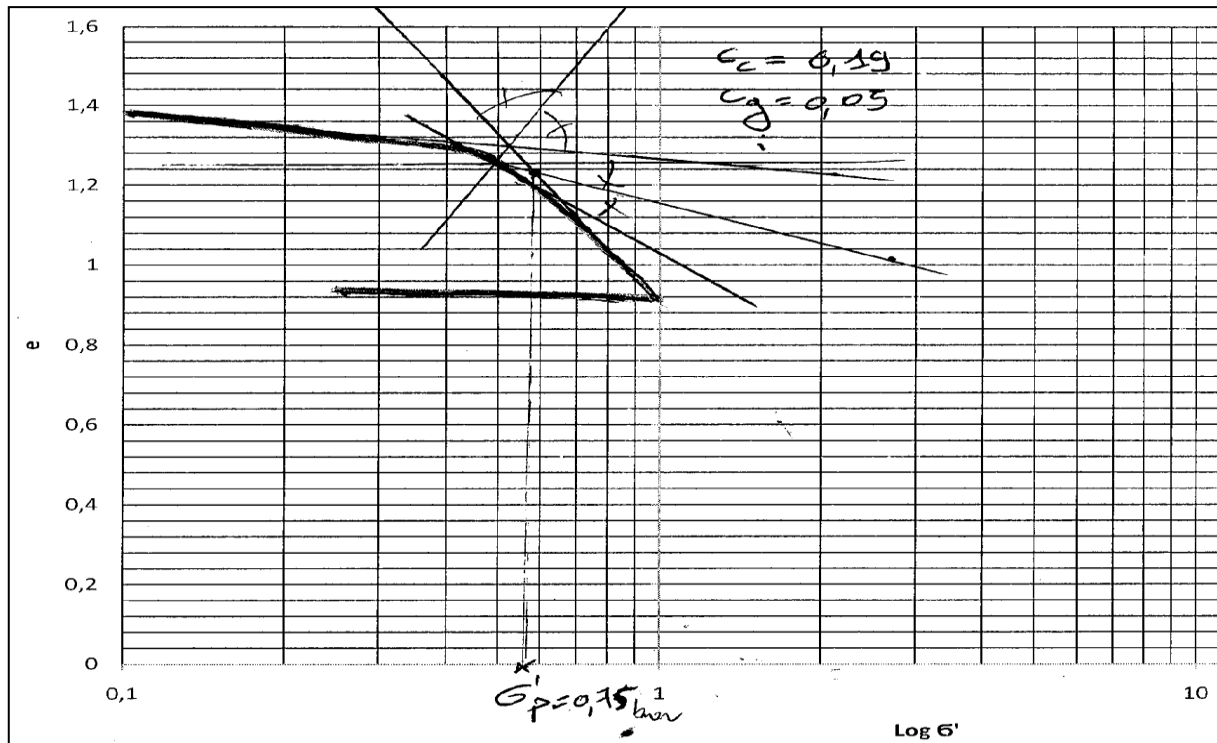
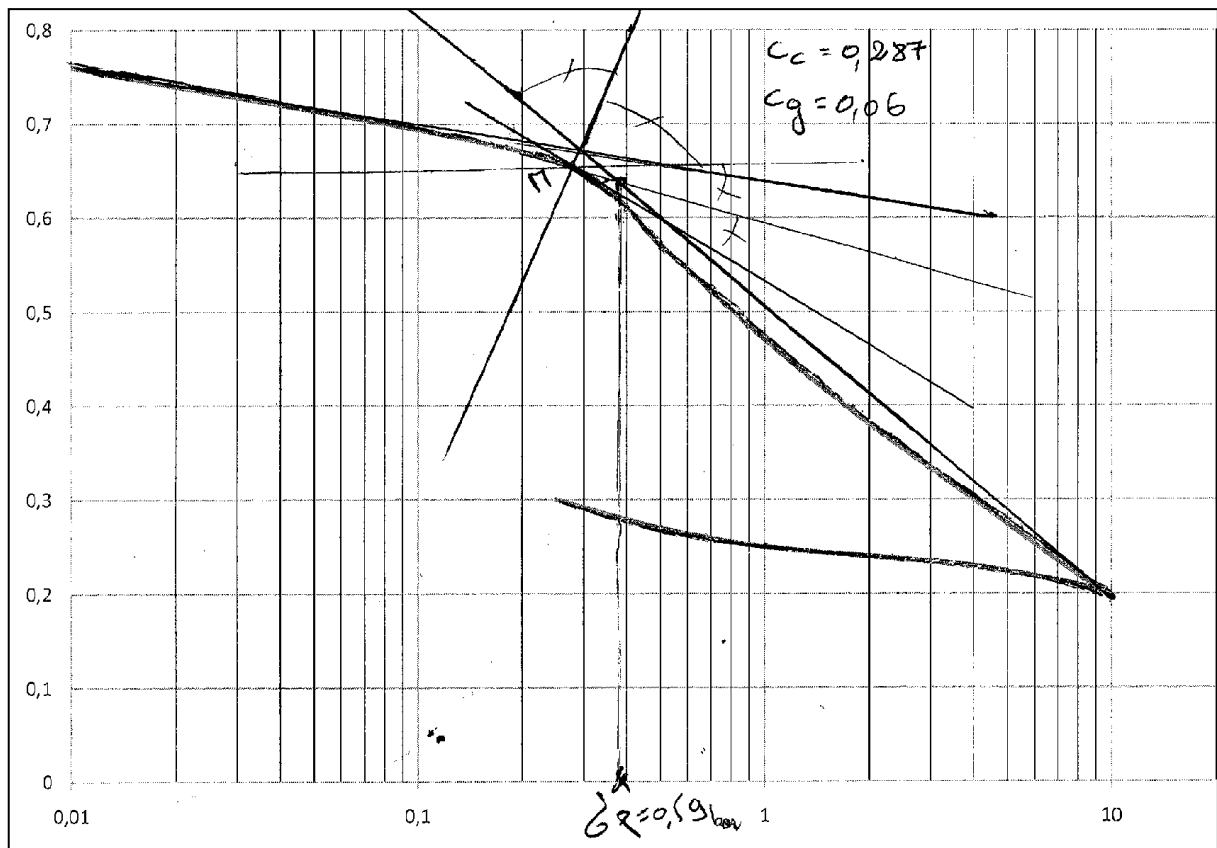


Figure (IV, 18): courbe de compressibilité (schiste+ eau potable).

b) L'essai par l'eau de mer:

La figure (IV, 19) montre la courbe de compressibilité de schiste par l'utilisation de l'eau de mer, après les calculs on a obtenu que le coefficient de compressibilité égal 0,287, le coefficient de gonflement égal 0,06 et la contrainte de consolidation égal 0,69 bar.



La figure (IV, 19):courbe de compressibilité (schiste+eau mer).

D’après les figures précédentes, nous constatons que l’ajout de l’eau de mer dans un sol schisteux engendre une diminution de la contrainte effective et l’augmentation des deux coefficients (C_c et C_g) comparativement à ce sol mélangé avec de l’eau potable.

IV.5.3.Récapitulatifs des résultats obtenus:

Tableau (IV, 04):tableau récapitulatif des résultats de l’essai Oedométrique.

	eau potable	eau de mer
Marne	$\sigma'_p=7,67$	$\sigma'_p=3,21$
	$C_c=0,068$	$C_c=0,293$
	$C_g=0,012$	$C_g=0,087$
Schiste	$\sigma'_p=0,81$	$\sigma'_p=0,69$
	$C_c=0,19$	$C_c=0,287$
	$C_g=0,05$	$C_g=0,06$

D’après les résultats du tableau précédent, nous remarquons que l’addition de l’eau de mer dans les deux sols argileux (marne et schiste) provoque une diminution de la contrainte effective et

l'augmentation des deux coefficients de compressibilité (C_c) et de gonflement C_g). Ces résultats sont expliqués par la sensibilité de l'argile avec l'eau saline.

Conclusion:

Les principales conclusions qu'on peut tirer de cette étude se résument comme suit:

- L'ajout de l'eau de mer à des types d'argiles augmente les limites de liquidités et implique une réduction des limites de plasticité;
- La teneur en eau optimum des types d'argile diminue lorsque l'eau de compactage est l'eau de mer par contre la densité volumique augmente, par rapport à l'eau potable;
- L'augmentation de l'angle de frottement avec une réduction de la cohésion pour l'ajoute de l'eau de mer;
- Le mélange avec l'eau potable et l'eau de mer respectivement. Ceci peut être attribué à la substitution de molécules d'eau par les sels, ce qui a élevé la teneur en eau des échantillons à raidir les échantillons.

Conclusion générale:

Cette étude a été établie dans le but de mieux comprendre l'influence de différents types d'eau sur les propriétés physiques et mécaniques des sols argileux. Les principales conclusions qui peuvent être tirées de cette étude expérimentale sont:

- L'ajout de l'eau de mer dans un sol argileux peut augmenter la limite de liquidité, et provoquer une réduction de la limite de plasticité par rapport à l'eau potable.
- Lorsque l'eau utilisée dans l'essai est l'eau de mer, on a enregistré une diminution de la teneur en eau optimum des sols argileux et une augmentation de la densité volumique sèche par rapport à l'eau potable.
- L'utilisation de l'eau de mer provoque une augmentation de l'angle de frottement et une réduction de la cohésion des sols argileux.

D'après cette étude, on peut conclure que l'eau de mer est un agent agressif influant négativement sur la stabilisation des terrains argileux, particulièrement lorsque les travaux de construction sont proches de la côte de mer.

Les références Bibliographique

- [1]- CLAUDE. A, «présentation de l'environnement d'étude et de l'investigation in situ», APC de Jijel, 2010.
- [2]- document technique, «Analyse du milieu agricole dans la wilaya de Jijel, bureau national du développement rural», 1997.
- [3]- document technique, «utilisation des engrais par culture en Algérie .Service de la gestion des terres et de la nutrition des plantes, division de la mise en valeur des terres et des eaux organisation des nations unis pour l'alimentation et l'agriculture», 2005.
- [4]- BOUILLIN, «géologie de l'est Algérien», 1971.
- [5]- DELGA. D, «Etude géologique de l'ouest de la chaine numidique», 1955.
- [6]- RAOULT, «Géologie du centre de la chaine numidique (Nord du Constantinois, Algérie)», (Thèse, paris), 1974.
- [7]- DJELLIT. H, «Evolution tectono-métamorphique du socle kabyle et polarité de mise en place des nappes flysch en petite Kabylie occidentale (Algérie)», thèse Doctorat, université de Paris, 1987.
- [8]- BOUILLIN. J.P, KORNPORST, A, «Association ultrabasique de la petite Kabylie : Péridotite de type Alpine et complexes stratifiés, comparaison avec les zones internes bético rifaines», France, 1974.
- [9]- BOUILLIN.J.P, «Géologie alpine de la petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El milia (Algérie)», thèse doctorat, université de Paris, 1977.
- [10]- BOUILLIN. J.P, BAUDELLOT. S, COIFFAIT. P, «Découverte d'Ordovicien inférieur daté par Acritarches dans l'Ouest de la Petite Kabylie (Algérie)», Conséquences structurales, Paris, 1981.
- [11]- DURAND-DELGA. M, «Mise au point sur la structure du Nord- Est de la Berbérie». Bull. Serv. Carte Géol, Algérie, 1969.
- [12]- MAHDJOUB. Y, «Cinématique des déformations et évolution P-.T anté-alpines en Petite Kabylie (Algérie Nord Orientale)», thèse Doctorat d'Etat, USTHB, Alger, 1991.

- [13]- VILA. J. M, «La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisien», thèse doctorat, Paris, 1980.
- [14]- Document technique, «Office national météorologique», 1987-2008.
- [15]- Document technique, «Etude de diagnostic et de réhabilitation du système d'assainissement de la ville de Jijel», rapport de la mission A (Pré-diagnostic du système), 2009.
- [16]- Rapport annuel l'Office National de la Météorologie de Achouat - Jijel (O.N.M), «Données météorologiques de la station pluviométrique de la période d'observation (2007-2014)», 2014.
- [17]- HOMAND F, DUFFAUT P, «Manuel de mécanique des roches, Tome 1: Fondements», éditions CFMR, Presses ENSMP, Paris, 2000.
- [18]- MILLOT.G, «Géologie des argiles : Altérations, sédimentologie, géochimie», Masson, 1964.
- [19]-MEUNIER A, «Clays mineralogy and chemical composition of bentonites from the gourougou volcanic massif », Springer science, 2005.
- [20]-OSIPOV V. I., SOKOLOV, V.N, «Relation between the microfabric of clay soils and their origin and degree of compaction». Bull. Inter. Assoc. Eng. Geology, 1978.
- [21]-LAMBE T.W, WHITMAN R.V, «Soil Mechanics, series in Soil Engineering», JohnWiley&, Sons. Inc.New York, 1969.
- [22]-CAILLERE. S, HENIN. S, «La classification des argiles», bull, Mexico, 1959.
- [23]-TOURET O, «structures des Argiles Hydratées, Thermodynamique de la Déshydratation et de la Compaction des Smectites», Strasbourg, Université Louis Pasteur 1988.
- [24]-AUBOUIN. J, BROUSSE .R, LEHMAN. J.P, «Précis De Géologie. 1er Cycle Et Licence. Tome I:Pétrologie», Univ Dunod, France, 1968.
- [25]-MERABET. D, BELKACEMI .H, «Caractérisation minéralogique et chimique du kaolin de Tamazert (Algérie)», Annales de Chimie Science des Matériaux No longer published by Elsevier, 2003.
- [26]-LIETARD. O, «Contribution à l'étude des propriétés physicochimiques, cristallographiques et morphologiques des kaolins», thèse doctorat en sciences, Nancy, 2003.
- [27]-MOORE. D. M, REYNOLDS. R. C, «X-ray Diffraction and the Identification and

Analysis of Clay Minerals», Oxford: Oxford university press, 1989.

[28]- PROSTE. R, « Etude de l'hydratation des argiles: interactions eau-minéral et mécanisme de la rétention de l'eau, Etude d'un smectite (hectorite)», Annals agronomiques, 1975.

[29]-HOWER. J, MOWATT .T.C, «The mineralogy of illites and mixed-layer Illite/montmorillonites», American Mineralogist, 1900.

[30]-VALÁŠKOVÁ. M, MARTYNKOVA. G. S, «Vermiculite, structural properties and examples of the use. Clay minerals in nature-their characterization, modification and application», In.Tech, 2012.

[31]- Oliva. J.P, Courgey. S, «L'isolation thermique écologique», 2010.

[32]- ORCEL. J, CAILLIERE. S, HENIN. S, «Nouvel essai de classification des chlorites, Mineral. Mag», 1950.

[33]- QABAQOUS. O, TIJANI. N, BENNAMI .M. N, El KROUK. A, «Elaboration et caractérisation des supports plans à base d'argile (Rhassoul) pour membranes minérales», 2014.

[34]-COUSIN. N,«Argile», éditions Eyrolles, dépôt légal, 2013.

[35]-SEGALEN. P, «Contribution à la connaissance de la couleur des sols à ses oxydes de la zone intertropicale, sols jaunes et sols rouges», Bondy, France 1969.

[36]-CHOUFA. N, «Epuraton des eaux usées: l'élimination des micropolluants dans les eaux usées par un matériau argileux», mémoire de magister, Université de Souk Ahras, 2013.

[37]-ALIOUNE. S, «détermination des propriétés de rétention des sols», mémoire de fin d'étude, école nationale supérieure d'agriculture département de génie rural, 2001.

[38]-MRAD .M,«Modélisation de comportement hydromécanique des sols gonflants non saturés», Institut national polytechnique de LORRAINE, 2005.

[39]-ROTENBERG .B,«Modélisation multi-échelles du comportement de l'eau et des ions dans l'argile», Université pierre et marie curie, PARIS, 2007.

[40]-LALMI. K, «Etude par diffraction RX matériaux à base de kaolin de kt2 et dd », thèse de Magister, Université Mentouri –Constantine, 2010.

[41]-LEBUIIS. J, ET RISSMAN.N, «Les coulées argileuses dans les régions de Québec et Shawinigan», Geological association of Canada, 1979.

- [42]- TORRANCE.K.J, «Mineralogy, pore-water chemistry and geotechnical behavior Of Champlain Sea and related sediments», Geological Association of Canada special Paper, 1988.
- [43]- DONOVAN. J.J, ET LAJOIE.G, «Geotechnical implications of diagenetic iron Sulfide formation in Champlain sea sediments», Canadian Journal of Earth Sciences, 1979.
- [44] ABDELHADI EL .H, «Argile et minéraux argileux : propriétés physico-chimiques et propriétés colloïdes», mémoire master, Chimie Fondamentale, université de Maroc, 2013.
- [45]- RICHARDS. L.A, «Conduction capillaire de liquides à travers des matériaux poreux», Cornell University, 1931.
- [46]- BUCKINGHAM .E, «Studies on the movement of soil moisture», Bulletin 38. USDA bureau of Soils, Washington, DC, 1907.
- [47]-GARDNER. W, «Le potentiel capillaire et sa relation avec les constantes d'humidité du sol»,1920.
- [48]-CALVET .R, «Le sol, propriétés et fonctions. Phénomènes physiques et chimiques, applications agronomiques et environnementales», France Agricole Editions, 2003.
- [49]-DELAGE. P, CUI Y.J, «Comportement mécanique des sols non saturés», Techniques de l'Ingénieur, 2001.
- [50]- FLEUREAU .J. M, KHEIRBEK.S. S., SOEMITRO. R, TAIBI .S, «Comportement des sols Argileux sur parcours séchage-mouillage», Revue Géotechnique Canadienne, 1993.
- [51]-ADRIANNE. P, «L'argile, médecine ancestrale de la tradition aux preuves scientifiques», éditions Amirys SPRL, 2003
- [52]-SEDIRA. N, «Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes», thèse de magister, Université de Souk- Ahras, 2013.
- [53]- White. G.N, Dixon .JB, Wearver .R.M , Kunkle .A.C, «sedimentary structure in gray of georgia. Clays and Clay minerals », 1992.
- [54]-ABBAS. M, «Valorisation Du Noyau D'abricot Dans La Dépollution Des Eaux», thèse de doctorat, Université de Boumerdes, 2015.
- [55] - Norme française P 94-050. « Sols : Reconnaissance et essais. Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux, Méthode par étuvage». AFNOR, 1995

- [56]-HILLEL. D, «Environmental soil physics», Academic Press, 1998.
- [57]-PROST.R,«Relations eau-argile, structure et gonflement des matériaux argile Dans A. decarreau (dir.), Matériaux argileux: Structure, propriétés et applications», Paris, 1990.
- [58]-SAIYOURI .N, HICHER. P.Y, TESSIER .D, «Microstructural analysis of highly compacted clay swelling», Unsaturated Soils, Beijing, 1998.
- [59]-DUEDALL I., Notes de cours - Océanographie, Florida Institute of Technology.
- [60]-DORSEY .E, «Properties of Ordinary Water Substance in all of its Phases: Water-vapor, Water, and all the Ices», Reinhold Publishing, 1940.
- [61]-ALICE. B, « L'odeur rafraîchissante de l'océan », 2008.
- [62] -YASMINE.B.M, ETAL, «Travail pratique n°2 de mécanique des sols: compactage et portance d'un sol », Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2015.
- [63]- Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), «Analyse des eaux et des eaux usées», laboratoire d'analyse de Département performances des systèmes de production et de transformation tropicaux (PERSYST), Paris, France, 2004.
- [64]- Norme Européenne NF P 18-011, «Bétons, Classification des environnements agressifs», Juin 1992, Editions AFNOR, Paris, 1992.
- [65]- Norme française NF P94- 050, «détermination de la Teneur en eau de pondéral des matériaux (méthode par étuvage)», paris, septembre 1995.
- [66]- Norme française NF P94-053, «Détermination de la masse volumique des sols fins», paris, octobre 1991.
- [67]- Norme française NF P 18-592, «Essai au bleu de méthylène à la tâche», paris, décembre 1990.
- [68]- Norme française NF P 18-560, «Analyse granulométrique par tamisage», paris, septembre 1990.
- [69]- Norme française NF P 94-057, «Essai granulométrique des sols par sédimentation», paris, mai 1992.
- [70]- Norme française NF P 94-051, «détermination des limites d'Atterberg, limite de liquidité à la coupelle, limite de plasticité au rouleau» , paris, mars 1993.

[71]- Norme française NF P 94-093, «Détermination des référencesde compactage d'un matériau Essai Proctor normal», paris, octobre 1999.

[72]- Norme française NF P94-071-1, «Essai de cisaillement direct à la boîte, cisaillement direct», paris, aout 1994.

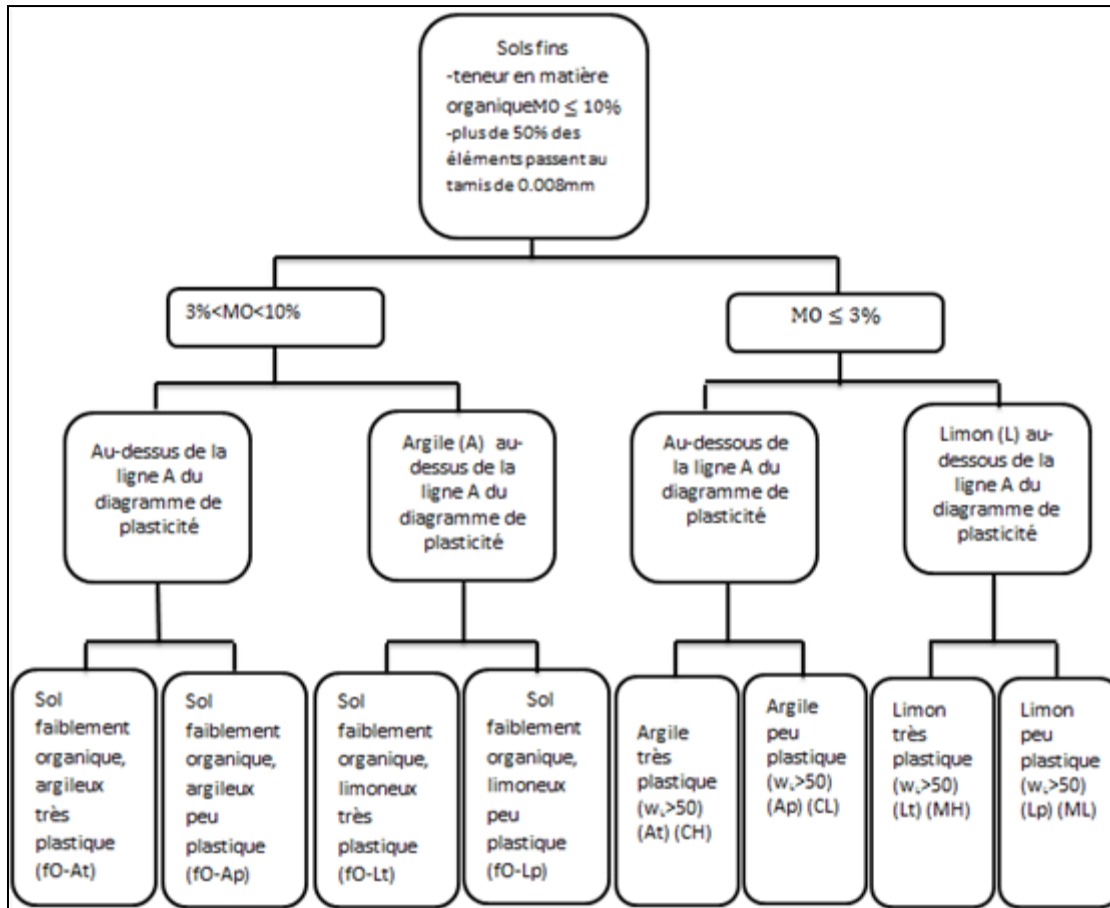
[73]- Norme française NP P 94-091-1, «Essai oedométrique : Essai de compressibilité sur matériaux fins quasi saturé avec chargement par palier», paris, décembre 1997.

Classification selon GTR

Classe **A**Tableau 1 - *Classification des sols fins*

Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état	
D _{max} ≤ 50 mm et Tamisat à 80 μm > 35%	A Sols fins	VBS ≤ 2,5 ⁽¹⁾ ou I _p ≤ 12	A₁ Limos peu plastiques, loess, sils alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques...	IPI ⁽¹⁾ ≤ 3 ou w _n ≥ 1,25 w _{OPN}	A ₁ th	
				3 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 8 ou 1,10 ≤ w _n < 1,25 w _{OPN}	A ₁ h	
				8 < IPI ≤ 25 ou 0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,1 w _{OPN}	A ₁ m	
				0,7 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN}	A ₁ s	
				w _n < 0,7 w _{OPN}	A ₁ ts	
		12 < I _p ≤ 25 ⁽¹⁾ ou 2,5 < VBS ≤ 6	A₂ Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques arènes...	IPI ⁽¹⁾ ≤ 2 ou I _c ⁽¹⁾ ≤ 0,9 ou w _n ≥ 1,3 w _{OPN}	A ₂ th	
				2 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 5 ou 0,9 ≤ I _c ⁽¹⁾ < 1,05 ou 1,1 w _{OPN} ≤ w _n < 1,3 w _{OPN}	A ₂ h	
				5 < IPI ≤ 15 ou 1,05 < I _c ≤ 1,2 ou 0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,1 w _{OPN}	A ₂ m	
				1,2 < I _c ≤ 1,4 ou 0,7 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN}	A ₂ s	
				I _c > 1,3 ou w _n < 0,7 w _{OPN}	A ₂ ts	
		25 < I _p ≤ 40 ⁽¹⁾ ou 6 < VBS ≤ 8	A₃ Argiles et argiles marneuses, limons très plastiques...	IPI ⁽¹⁾ ≤ 1 ou I _c ⁽¹⁾ ≤ 0,8 ou w _n ≥ 1,4 w _{OPN}	A ₃ th	
				1 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 3 ou 0,8 ≤ I _c ⁽¹⁾ < 1 ou 1,2 w _{OPN} ≤ w _n < 1,4 w _{OPN}	A ₃ h	
				3 < IPI ≤ 10 ou 1 < I _c ≤ 1,15 ou 0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,2 w _{OPN}	A ₃ m	
				1,15 < I _c ≤ 1,3 ou 0,7 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN}	A ₃ s	
				I _c > 1,3 ou w _n < 0,7 w _{OPN}	A ₃ ts	
		I _p > 40 ⁽¹⁾ ou VBS > 8	A₄ Argiles et argiles marneuses, très plastiques...	Valeurs seuils des paramètres d'état, à définir à l'appui d'une étude spécifique		A ₄ th
						A ₄ h
						A ₄ m
						A ₄ s

2) Classification d'après LCPC :



Sols fins