



**APERÇU GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE DE LA ZONE  
D'ÉTUDE ET GÉNÉRALITÉS SUR LES SOLS ARGILEUX**

# CHAPITRE 1 : APERÇU GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE ET GÉNÉRALITÉS SUR LES SOLS ARGILEUX

## INTRODUCTION

Les principales données se rapportant à la géographie et la géologie de la zone d'étude sont présentées dans ce chapitre. Il s'agit, d'une part, de la localisation géographique du site de prélèvement des échantillons, des données du climat, de la végétation, du relief et, d'autre part, du contexte géologique régional.

### 1.1 CADRE GÉOGRAPHIQUE

#### 1.1.1 Localisation et statut administratif

Diamniadio se situe à 35 kilomètres à l'Est de Dakar (capitale régionale), dans le Département de Rufisque. C'était un village de l'ex-communauté rurale de Sébikhotane. C'est le 12 février 2002, par décret présidentiel n° 2002-171, qu'il a été érigé en commune structurée en dix-neuf (19) quartiers (figure 1).



Figure 1 : Localisation de Diamniadio (AGERROUTE, in Diagne, 2019)

### **1.1.2 Données climatiques**

#### **➤ Pluviométrie**

La pluviométrie est caractérisée par une durée relativement courte de l'hivernage, variant entre trois et quatre mois de juin à octobre. Elle est marquée, d'une part, par une inégale répartition dans le temps et dans l'espace et, d'autre part, par une faiblesse des quantités d'eau enregistrées (ANSD, 2019).

#### **➤ Température et humidité**

La température varie entre 17 et 25° C de décembre à avril, et de 27 à 30 ° C de mai à novembre. Le régime des vents est marqué par l'influence prédominante de l'alizé. Ce dernier est issu de l'anticyclone des Açores. Sa direction principale varie du Nord-Nord-ouest au Nord-Nord-est (ANSD, 2019).

#### **➤ Vents**

Diamniadio est caractérisée, pendant une bonne période de l'année, par un microclimat marqué par l'influence de l'alizé maritime, d'où l'existence d'une fraîcheur et d'une humidité quasi permanente et relativement forte de l'ordre de 25%. Toutefois, l'harmattan, qui est un alizé continental saharien, se fait sentir faiblement en saison sèche et au fur et à mesure que l'on s'éloigne des côtes (ANSD, 2019).

#### **➤ Insolation**

L'insolation est un paramètre qui peut servir, entre autres, dans la quantification des phénomènes de l'évapotranspiration. L'insolation est exprimée en heures et minutes. Les fortes valeurs d'insolation correspondent à des températures très élevées et les faibles valeurs à des températures basses. En général l'insolation moyenne varie de 7,1 h/j pendant la saison pluvieuse où le ciel est toujours nuageux à 8,8 h/j pendant la saison sèche où le ciel est bien dégagé (ANSD, 2019).

### **1.1.3 Végétation et Faune**

La végétation de la commune de Diamniadio est celle du domaine soudano-sahélien constituée par une savane arborée et arbustive. La composition floristique est dominée par *Adansonia digitata* et *Euphorbia* sp. Elle est aujourd'hui très dégradée et peu diversifiée en raison du recul de la pluviométrie et des agressions anthropiques.

Les ressources fauniques sont quasi-inexistantes du fait de la dégradation du couvert végétal suite à l'accroissement considérable de la population et de l'urbanisation. Les quelques spécimens que l'on rencontre sont confinés dans les reliques de végétation et autour des points d'eau existants. La faune répertoriée, se résume à de rares espèces constituées essentiellement de lézards, de gibier à poils (singes, chacals communs) de gibier à plumes (canards à plumes et de gibier d'eau, les pigeons maillés et verts et les francolins) (ANSD, 2019).

#### **1.1.4 Relief**

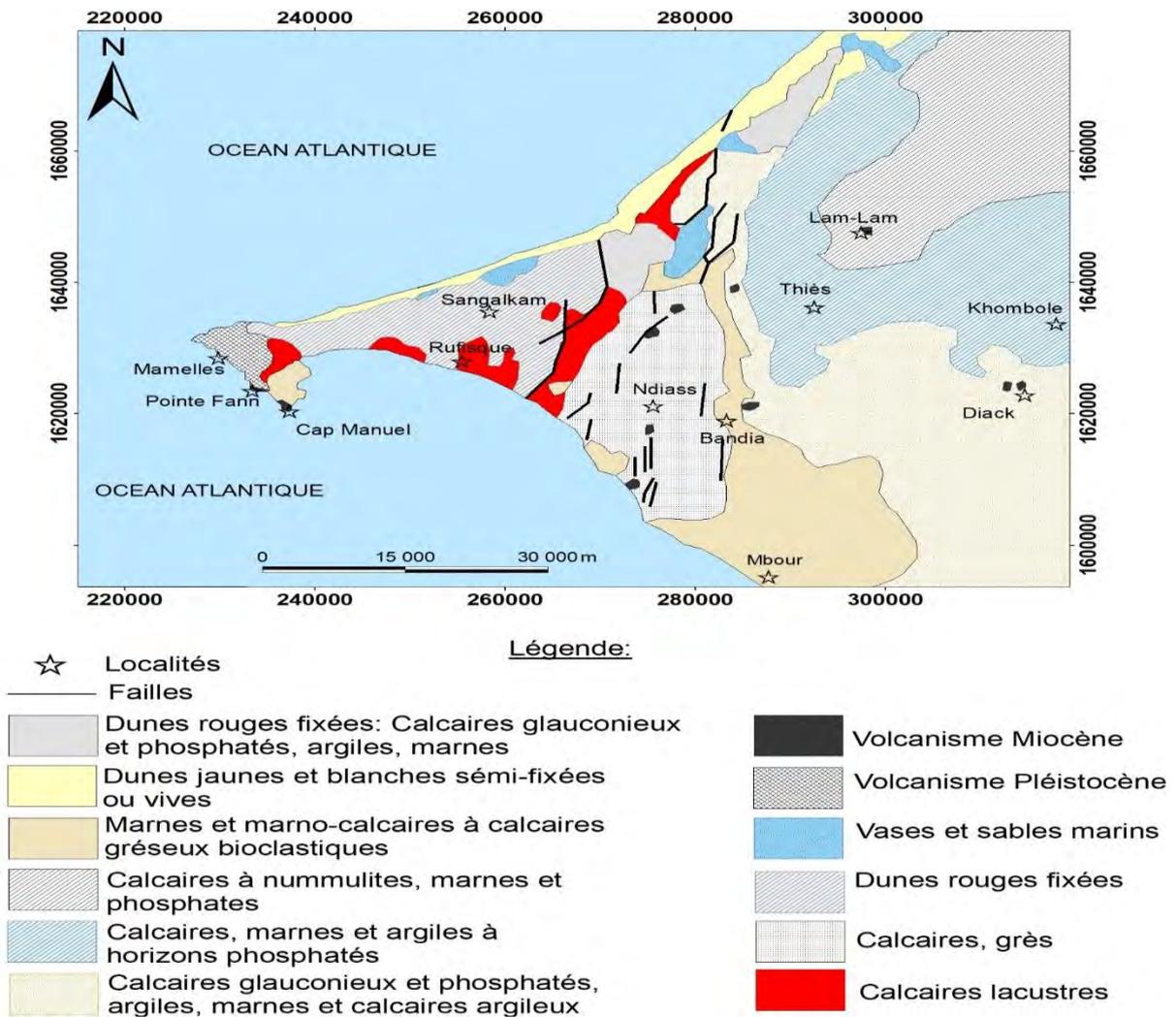
Il comprend un ensemble de collines et de plateaux d'altitudes inférieures à 50 m. Sa couverture géologique comprend une alternance de marnes et de calcaires dont les plus perméables, les calcaires paléocènes de Sébikotane, les sables et les grès du maastrichtien, renferment des nappes aquifères importantes. On y observe le prolongement des bas-fonds fertiles et des sols aptes au maraîchage et à l'arboriculture particulièrement dans la zone rurale (ANSD, 2019).

## **1.2 CADRE GÉOLOGIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE**

### **1.2.1 Cadre géologique régional**

La géologie de Diamniadio ne peut être appréhendée que dans le contexte d'ensemble de toute la presqu'île du Cap Vert. Cette dernière correspond à la partie la plus occidentale du Bassin sédimentaire sénégalais. La presqu'île du Cap-Vert est caractérisée par trois grandes unités géologiques d'âges différentes (figure 2) (Roger et *al.* 2009) :

- calcaires et marnes du Tertiaire (Paléocène et Eocène) du centre vers l'Est de la région ;
- produits volcaniques du Tertiaire et du Quaternaire sur la pointe occidentale ;
- dépôts sableux du Quaternaire sur la côte Nord caractérisée par des formations littorales, deltaïques et lacustres.



**Figure 2 :** Carte géologique de la presqu'île du Cap-Vert et du plateau de Thiès (Roger et *al.* 2009, modifiée)

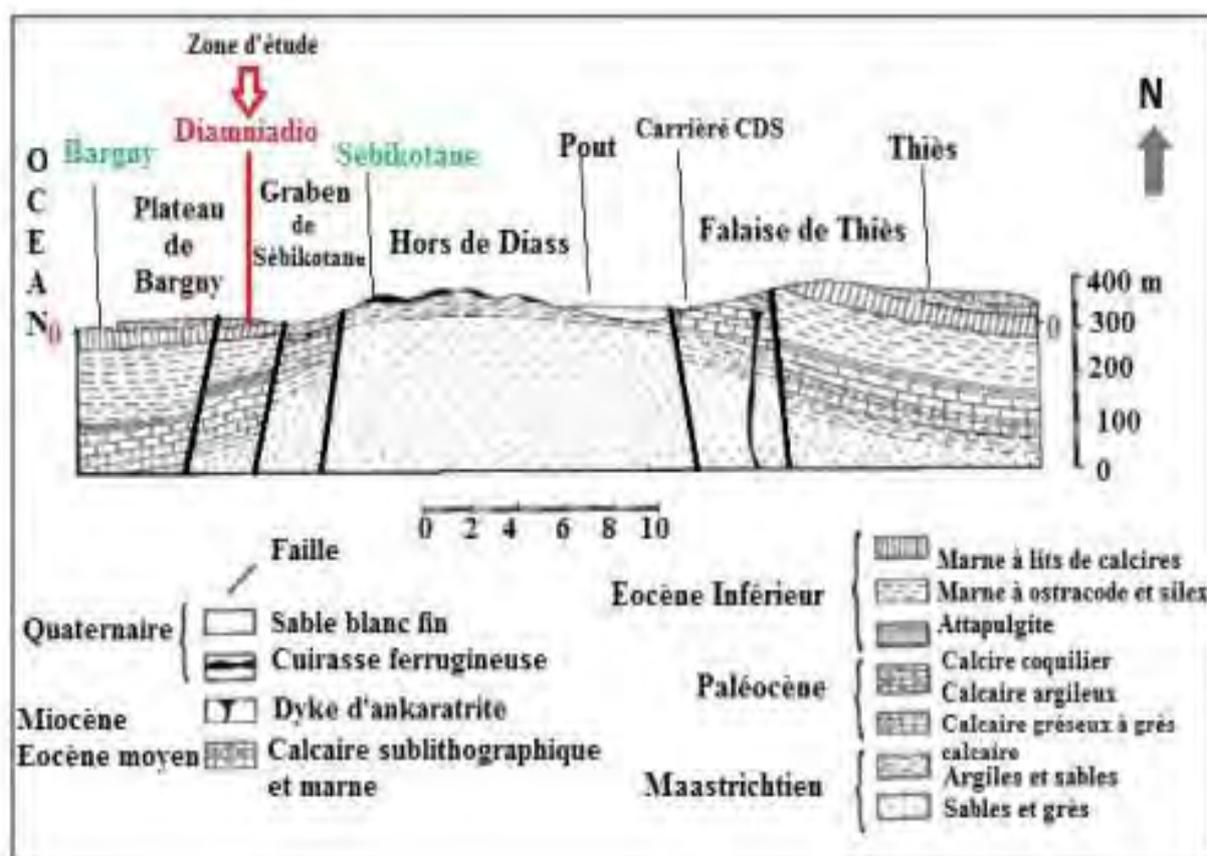
### 1.2.2 Cadre géologique local

Cette partie du Bassin sédimentaire sénégalais est caractérisée par une tectonique cassante avec la présence de failles NE-SW à N-S qui délimitent une succession de horst et grabens correspondant respectivement à la présence de caps rocheux et de plages sableuses (Martin, 1970). La ville de Diarniadio se situe entre le horst de Diass et le graben de Rufisque (figure 3).

En se référant à la notice explicative de la carte de Bargny à l'échelle 1/20 000, la zone d'étude se caractérise par des formations du Lutétien d'une puissance d'environ 25 m et composées de marno-calcaires reposant sur des calcaires. Ces formations calcaires, appelées les calcaires de Bargny, peuvent atteindre 15 à 30 m d'épaisseur en alternance avec des lits de marnes. Ils sont de couleur grisâtre à jaunâtre (Ndiaye, 2019).

Les formations du Lutétien reposent sur celles du Maastrichtien. Elles sont surmontées par des argiles noirâtres d'une puissance maximale de 3 m. La surface de ces sols argileux est bosselée et craquelée. Sur les cartes pédologiques du Cap Vert et du Sénégal, ces argiles noirâtres sont de la famille des vertisols. A l'état humide, les vertisols sont plastiques et collants. Ces derniers sont le résultat de la décarbonatation plus ou moins rapide de la marne par les eaux de ruissellement occasionnant la formation de sillons creusés sur celle-ci appelés ravinements. Les vertisols sont des sols caractéristiques des climats de type tropical, généralement fertiles, où la smectite comprenant le type montmorillonite est habituellement abondante (Ndiaye, 2019).

Du point de vue hydrogéologique, la nappe phréatique est renfermée dans les sables et argiles du continental terminal appelé localement la formation du saloum et les calcaires du Paléocène. Le relief et la nature imperméable des sols favorisent un ruissellement intense des eaux de pluies (Ndiaye, 2019).



**Figure 3 :** Coupe géologique des régions de Bargny et Thiès (Martin, 1970, modifiée)

## **1.3 LES SOLS ARGILEUX**

### **1.3.1 Généralités sur les sols argileux**

Le terme "sol" est utilisé en génie civil pour désigner un matériau constitué d'un agrégat naturel de particules minérales de dimensions comprises dans des limites prédéfinies.

Les sols argileux sont constitués de minéraux variés dont l'affinité à l'eau dépend de plusieurs paramètres, entre autres la structure minéralogique. Certains sols comportent une proportion de particules argileuses telles que les illites et les smectites, etc. Quand ils sont humidifiés à partir d'un état sec, ils subissent des gonflements dus d'une part, à l'absorption des molécules d'eau sur la surface extérieure des particules et, d'autre part, à la pénétration des molécules d'eau entre les feuillets dont l'empilement constitue les particules d'argile. Ce gonflement des argiles dépend des conditions de l'état de compacité du sol et des conditions hydriques. Inversement, si la quantité d'eau diminue dans le sol, il subit une diminution de volume relativement importante. Ceci provoque en particulier le développement d'un réseau de fissures dû au retrait/gonflement en surface (Koussaila et Tarek, 2020).

Les argiles sont des sols très sensibles à l'eau. Elles sont à l'origine de nombreux désordres dans les constructions. Elles peuvent être classées en deux grandes catégories (Koussaila et Tarek, 2020) :

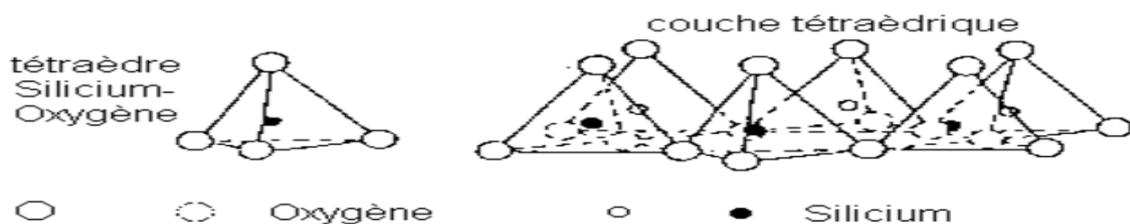
- argiles plastiques : indurées et très déformables ;
- argiles raides : indurées et présentant un comportement plus fragile que la limite d'élasticité. Ceci à cause de la présence des carbonates et du quartz microscopique.

Les argiles sont formées par l'assemblage de particules de taille inférieure à 2  $\mu\text{m}$  chargées négativement comme la smectite, l'illite et la kaolinite. La présence de tels minéraux rend l'argile fortement sensible aux molécules polaires d'eau. Cette sensibilité se traduit par le gonflement et/ou le retrait du sol. C'est la variation de la teneur en eau qui est le facteur déclenchant des variations de volume. Une augmentation de la teneur en eau entraîne le phénomène de gonflement tandis que sa diminution induit le phénomène de retrait. La variation du volume des argiles est fortement influencée par les facteurs microscopiques et macroscopiques. A l'échelle microscopique, ces facteurs sont complexes et dépendent principalement des propriétés minéralogiques des matériaux argileux et des propriétés chimiques du fluide hydratant. A l'échelle macroscopique, ils dépendent des liaisons électriques entre les particules (Koussaila et Tarek, 2020).

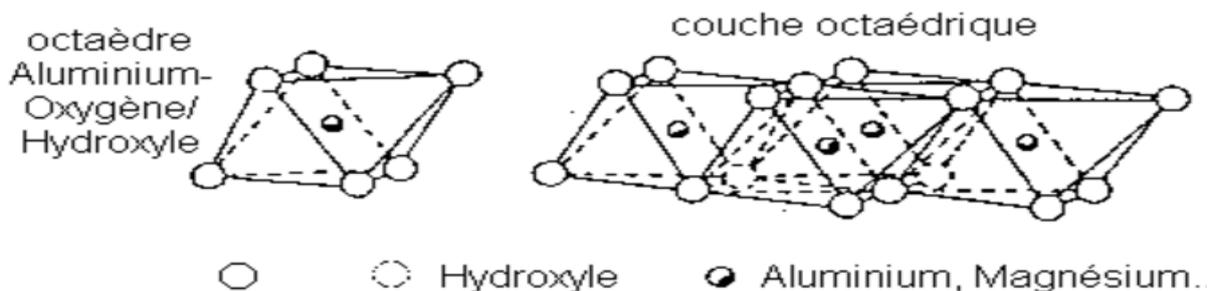
### 1.3.2 Structure élémentaire des minéraux argileux

Tous les minéraux argileux sont composés par l'assemblage, en réseau cristallin, d'eau ( $H_2O$ ), de silice sous forme de silicates ( $SiO_3$ ), et d'aluminium sous forme d'alumine ( $Al_2O_3$ ). Leur structure élémentaire, appelée feuillet, est constituée d'un arrangement de deux cristaux de base : silicate et alumine. Chaque minéral argileux est composé d'un empilement de feuillets. Ce dernier a un nombre variable de couches pouvant être regroupées en deux types (Koussaila et Tarek, 2020) :

- le tétraèdre de silice  $SiO_4$  (Te) : 4 atomes d'oxygène disposés au sommet d'un tétraèdre régulier enserrant un atome de silicium. Les tétraèdres se combinent entre eux pour former des couches planes dites couches tétraédriques (figure 4) ;
- l'octaèdre d'alumine  $Al_2(OH)_6$  et éventuellement de magnésium  $Mg_3(OH)_6$  (Oc) : 6 ions hydroxydes enserrant un atome d'aluminium ou de magnésium. Les octaèdres se combinent également pour former des couches planes dites couches octaédriques (figure 5).



**Figure 4** : Structure élémentaire tétraédrique (Koussaila et Tarek, 2020)



**Figure 5** : Structure élémentaire octaédrique (Koussaila et Tarek, 2020)

### 1.3.3 Structure moléculaire microscopique des argiles

Le feuillet élémentaire se compose d'un empilement de 2 ou 3 unités de base. Les liaisons covalentes et les liaisons ioniques assurent l'assemblage des feuillets élémentaires. Les forces de liaison entre feuillets sont principalement (Koussaila et Tarek, 2020) :

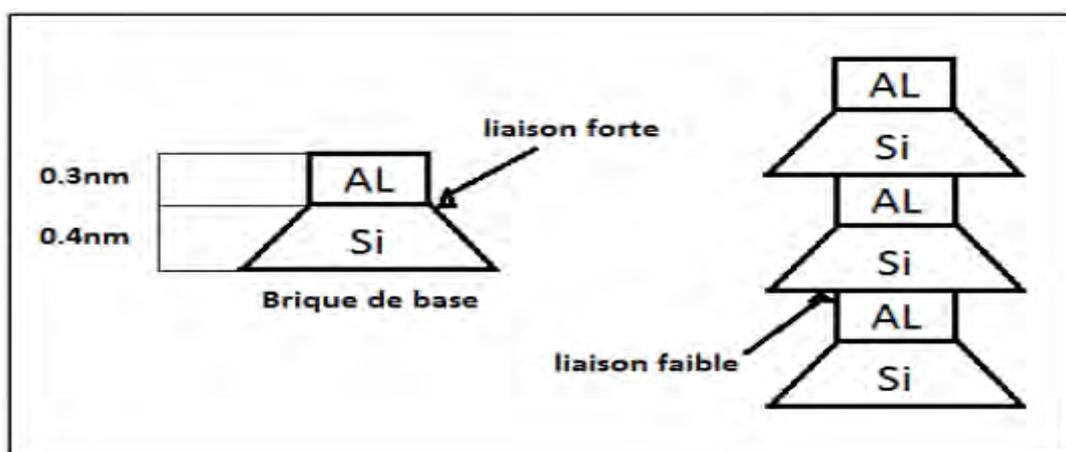
- les forces d'attraction moléculaires qui sont des liaisons faibles ;

- les liaisons hydrogènes qui apparaissent avec des atomes fortement électronégatifs, comme l'oxygène.

- les substitutions isomorphes qui consistent à remplacer certains cations constitutifs du réseau cristallin par d'autres de moindre valence. Ce dernier phénomène crée des déficits de charge qui affaiblissent les forces ioniques de liaison entre les feuillets (remplacement d'un ion  $\text{Si}_4^+$  par un ion  $\text{Al}_3^+$  dans la couche octaédrique d'aluminium). Les particules sont donc soumises à un ensemble de forces d'attraction et de répulsion qui varient avec la teneur en eau et dépendent des substitutions isomorphes. Malgré la simplicité apparente de la structure des argiles, on en compte un grand nombre d'espèces, qui se distinguent par les défauts liés aux substitutions isomorphes au moment de la formation. Trois types d'argile sont couramment rencontrés : la kaolinite, l'illite et la montmorillonite.

### ✓ La kaolinite

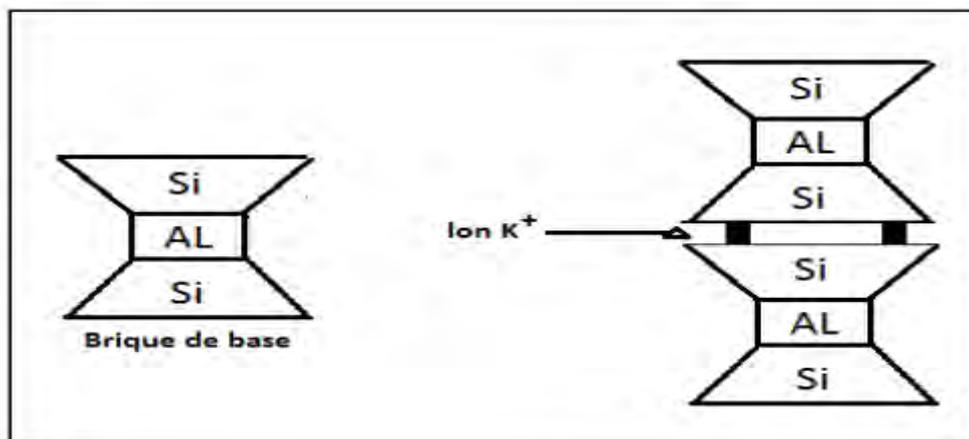
Le feuillet élémentaire est constitué d'une couche de silice et d'une couche d'alumine (figure 6). Entre différents feuillets de kaolinite, le contact se fait entre un plan contenant les ions hydroxyles  $\text{OH}^-$  de l'octaèdre, et celui contenant les ions d'oxygène  $\text{O}^{2-}$  du tétraèdre. Dans ce cas, les liaisons inter foliaires résultent de l'effet composé de liaisons hydrogène et de forces de Van Der Waals, ce qui se traduit par un lien assez fort. Ainsi une particule de kaolinite sera constituée, par exemple, de quelques centaines de feuillets et pourra avoir une épaisseur de quelques dizaines de micromètres. Ces particules sont stables et leur structure élémentaire n'est pas affectée par la présence d'eau.



**Figure 6** : Structure particulaire de la kaolinite (Zeinab et Nehla, 2017)

### ✓ L illite

Les illites appartiennent à la famille des phyllo silicates. Le feuillet élémentaire est composé d'une couche octaédrique d'alumine comprise entre deux couches tétraédriques de silice. Dans les couches tétraédriques de silice, un ion  $\text{Si}^{4+}$  sur quatre est remplacé par un ion  $\text{Al}^{3+}$ . Le déficit de charge qui en résulte est compensé dans l'espace inter foliaire par des ions potassium  $\text{K}^+$  qui assurent des liaisons fortes entre les feuillets (figure 7). Cette liaison est suffisante pour empêcher l'eau de s'insérer à l'inter-couche et l'illite n'est pas une argile très gonflante. Les illites sont des particules de dimensions plus petites que la kaolinite de diamètre équivalent moyen de  $0,3 \mu\text{m}$ , et d'une épaisseur de  $100 \text{ \AA}$ .

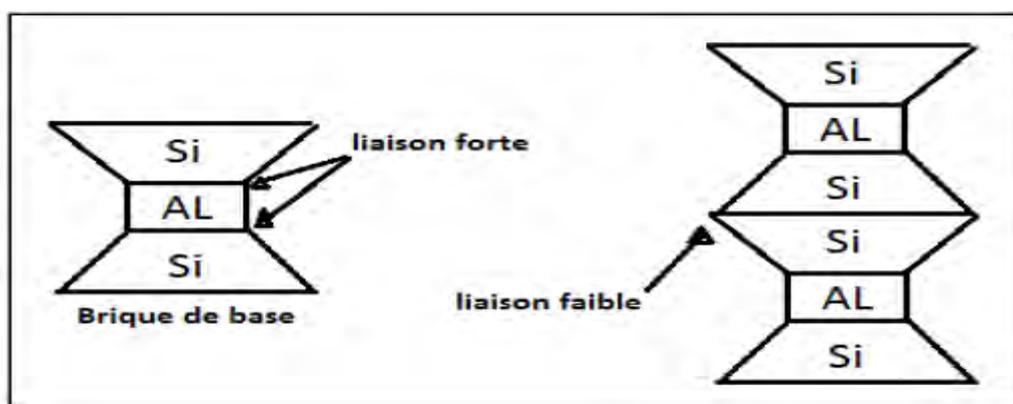


**Figure 7 :** Structure particulière de l'illite (Zeinab et Nehla, 2017)

### ✓ La montmorillonite

Le feuillet élémentaire est composé, comme pour l'illite, d'une couche d'alumine comprise entre deux couches de silice. Un ion  $\text{Al}^{3+}$  est remplacé par un ion  $\text{Mg}^{2+}$  dans les couches d'alumine (figure 8). Le déficit de charge qui en résulte est compensé par des ions  $\text{Ca}^{2+}$  (montmorillonite calcique) ou par des ions  $\text{Na}^+$  (montmorillonite sodique), la valence des ions sodium étant plus faible que celle des ions calcium. C'est la montmorillonite sodique qui aura la plus grande surface spécifique et la plus grande C.E.C. Les liaisons entre feuillets étant très faibles, ces argiles sont très sensibles à la teneur en eau et ont un fort potentiel de gonflement. L'épaisseur d'une particule de montmorillonite peut être très faible puisque, contrairement aux

autres argiles, on peut isoler un feuillet élémentaire. La montmorillonite fait partie de la famille plus générale des smectites définies comme argiles gonflantes.



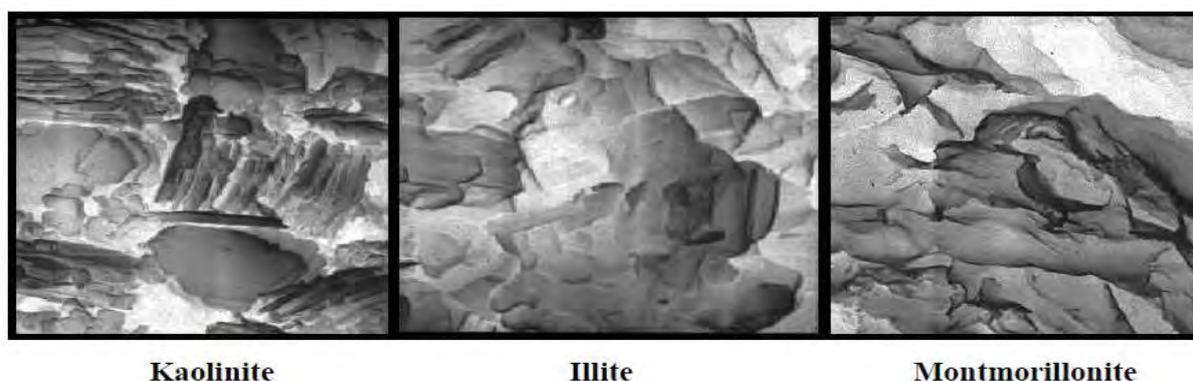
**Figure 8** : Structure particulière de la montmorillonite (Zeinab et Nehla, 2017)

Les caractéristiques de ces argiles sont résumées dans le tableau 1.

**Tableau 1** : Caractéristiques des argiles (Koussaila et Tarek, 2020)

Nom	Nombre de feuillets par particules	Diamètre d'une particule ( $\mu\text{m}$ )	Epaisseurs d'une particule ( $\mu\text{m}$ )	Surface spécifique en $\text{m}^2/\text{g}$	C.E.C en meq/100g
Kaolinite	100-200	0,1-4	1-10	10-20	3-15
Illite	1-10	0,1-1	0,003-0,01	65-100	oct-40
Montmorillonite (smectite)	1	0,1	0,001	700-840	80-150

La figure 9 présente des images de ces argiles prises au microscope électronique à balayage.



**Figure 9** : Photographies au microscope électronique à balayage de différents types d'argile (Koussaila et Tarek, 2020)

## 1.4 LES MARNES

La marne est une roche sédimentaire contenant du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) et de l'argile. On la définit comme étant un matériau de transition entre le calcaire et l'argile ; c'est une roche carbonatée contenant 30 à 70 % d'argile. Ainsi, elle tient de la fraction carbonatée une structure plus ou moins résistante et de la fraction argileuse une possibilité d'évolution par destruction de la structure par suite de l'action de l'eau sur l'argile conduisant en un matériau plastique. Cette définition purement pétrographique a été sensiblement élargie sur le plan du pourcentage d'argile. En pratique, en génie civil, le nom marne peut être attribué pour toutes roches carbonatées contenant 10 à 90% d'argile (Boudlal et al. 2014).

Comme les argiles, les marnes sont tendres, finement poreuses, friables quand elles sont sèches, plus ou moins plastiques lorsqu'elles sont humides. Mais, à la différence des argiles, elles font effervescence avec les acides à cause de la présence du calcaire. La finesse des éléments constitutifs (minéraux argileux, carbonates et, parfois, silice en faible quantité) place les marnes dans le groupe des lutites ou pélites (Zeinab et Nehla, 2017).

La teneur en carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) ou en argile (tableau 2) sont des paramètres essentiels permettant la classification de certaines roches.

**Tableau 2** : Classification selon la teneur en carbonate et argile (Boudlal et al. 2014)

Classification de Jung		Classification LCPC	
Roches	% d'argile	% de $\text{CaCO}_3$	Roches
Calcaire	00 à 005	00 à 010	Argile ou Silt
Calcaire-Argileux	05 à 035	10 à 030	Argile ou Silt-Marneux
Marne	35 à 065	30 à 070	Marne
Argile-Calcaire	65 à 095	70 à 090	Calcaire-Marneux
Argile	95 à 100	90 à 100	Calcaire

Les marnes apparaissent constituées de trois phases : phase carbonatée, phase sableuse et phase argileuse. Elles sont réputées pour avoir souvent un comportement particulièrement gênant et dangereux parce qu'elles peuvent être à la fois très dures à l'extraction et très altérables. Les blocs extraits perdent spontanément toute résistance au bout de quelques temps d'exposition aux intempéries. Les caractéristiques mécaniques sont liées à l'importance respective de chacune des phases mais aussi à la nature minéralogique de la phase argileuse. La présence d'argile montmorillonitique ou encore d'argile fibreuse induit des caractéristiques mécaniques mauvaises. Cependant cette influence particulière des argiles peut

être tempérée ou au contraire exacerbée suivant les types de texture. Si les liaisons entre les carbonates sont abondantes et fortes, le matériau aura un comportement de roche. Au contraire si les carbonates sont noyés dans une matrice argileuse, le matériau aura un comportement de sol (Zeinab et Nehla, 2017).

### **1.5 PROBLÈMES LIÉS AUX SOLS ARGILEUX EN CONSTRUCTION ROUTIÈRE**

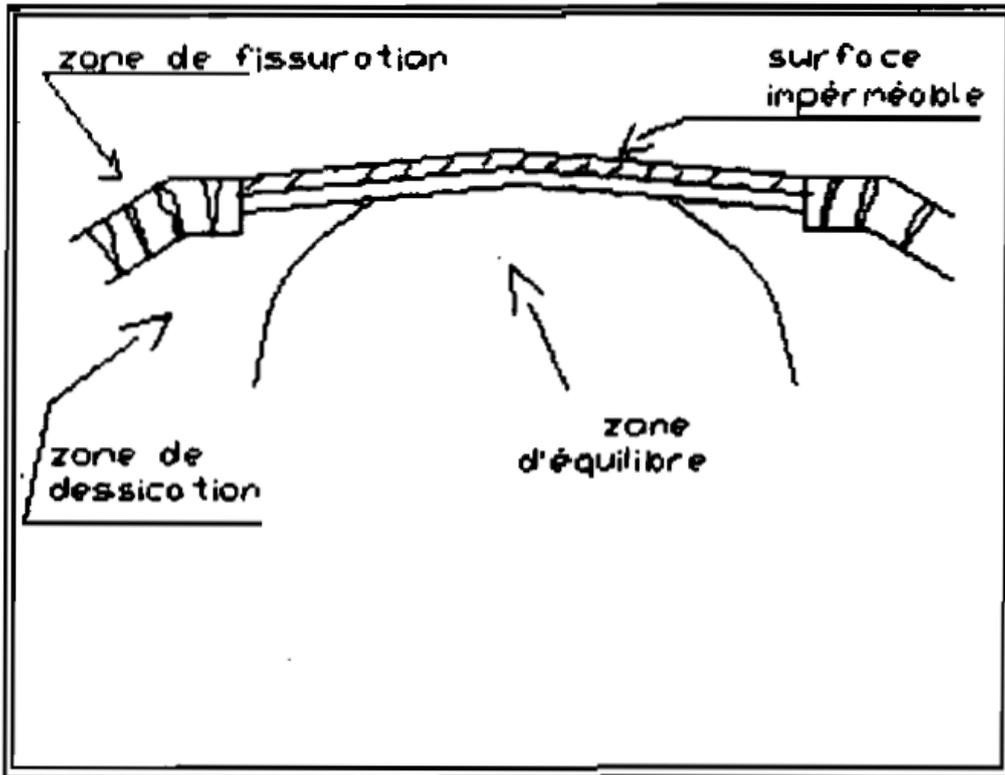
Il a été constaté que les évaporations de l'eau contenue dans le sol d'assise gonflant sont beaucoup plus importantes au niveau des pieds ou bords de talus et des accotements qu'au niveau de la partie centrale de la chaussée (Diop, 2002).

En effet, le revêtement constitue un obstacle à l'évaporation de cette eau et cela entraîne que le sol support dans l'axe de la chaussée ne subit que de très faibles variations de teneurs en eau alors que latéralement les fluctuations sont d'amplitudes plus fortes.

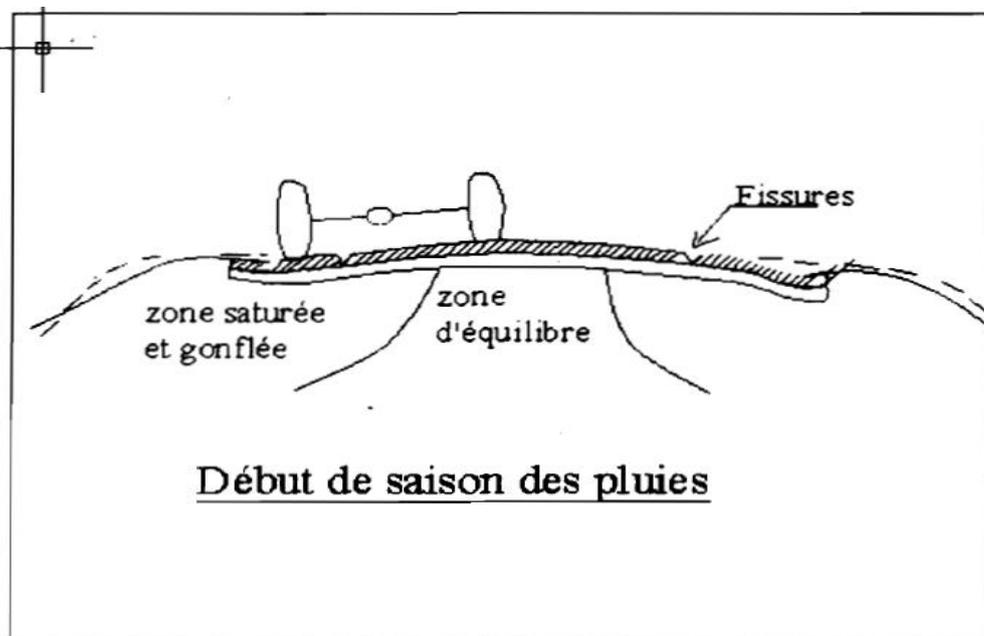
Durant cette situation, des processus différentiels de gonflement entre l'axe central et les accotements sont inévitables et des désordres prévisibles. Ces désordres commencent souvent à se manifester par des fissurations longitudinales et des orniérages qui s'accroissent vers le bord de chaussée et qui correspondent à un étirement latéral du corps de chaussée, depuis l'axe vers les accotements.

Maintenant sous l'effet du trafic, ces fissures vont se généraliser sur l'ensemble de la chaussée. En effet, les premières fissurations qui s'observent sur le bord de chaussée vont constituer des voies d'infiltration de l'eau de pluie. Il s'ensuit une réduction progressive de la zone d'équilibre. En période de sécheresse, les retraits latéraux font que les butées latérales se dérobent gravement bien que le terrain durcisse et lorsque la saison pluvieuse arrive, ces mêmes bandes s'abreuvent d'eau et perdent leur portance par ramollissement (Diop, 2002).

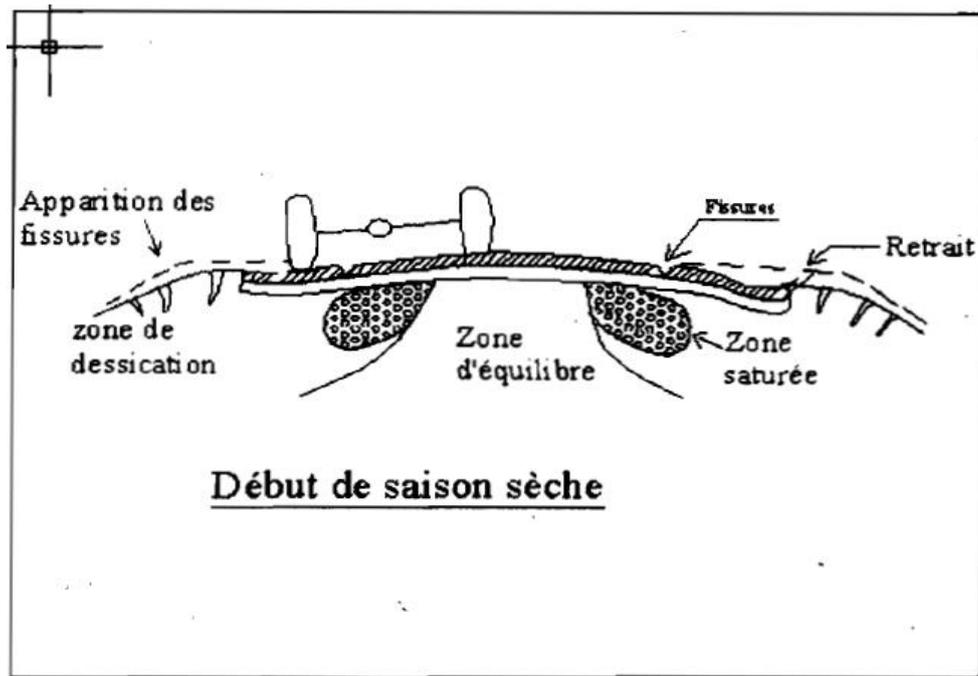
Ainsi, par le phénomène de retrait-gonflement qui se propage de plus en plus vers l'axe de la chaussée, la dégradation finit par affecter l'ensemble de la chaussée sous le trafic des poids lourds. Il faut toutefois noter que, les chaussées construites sur sols gonflants sont beaucoup plus fragiles durant les saisons humides. Par conséquent, une réglementation de la circulation routière qui mettrait hors d'usage ces types de chaussées durant les saisons pluvieuses pourrait allonger considérablement la durée de vie de celles-ci (figures 10, 11 et 12).



**Figure 10** : Schéma d'une chaussée gonflant en fin de saison sèche après une première pluie (Diop, 2002)



**Figure 11** : Schéma d'une chaussée sur sols gonflants en début de saison pluvieuse (Diop, 2002)



**Figure 12** : Schéma d'une chaussée sur sols gonflants à la saison sèche de l'année suivante (Diop, 2002)