

**IDENTIFICATION DES
MATERIAUX DE BASE ET DU
MELANGE**

2.1-Identification des matériaux de base

2.1.1-Analyses chimiques

❖ Pour les argiles de Thiéky

L'échantillon d'argile de Thiéky, de couleur ocre à jaune, a donné les résultats d'analyse qui sont consignés dans le tableau II

Tableau II: Résultat de l'analyse chimique d'un échantillon d'argile de Thiéky (TRENOUX, 1963)

Composition chimique	Pourcentage (%)
SiO₂	61,10
Al₂O₃	19,45
Fe₂O₃	5,15
H₂O+	6,45
H₂O-	3,50
K₂O	1,85
MgO	0,95
TiO₂	0,85
CaO	0,75
Na₂O	0,55
P₂O₅	0,08
MnO	0,02
Total dosé	100,7 g

- ❖ Les argiles de Sébikhotane : les résultats de l'analyse chimique effectuée sur un échantillon sont donnés dans le tableau III

Tableau III: Résultats de l'analyse chimique d'un échantillon d'argile de Sébikhotane (TRENOUX, 1963)

Composition chimique	Pourcentage (%)
SiO₂	50,40
H₂O+	11,00
H₂O-	9,43
Al₂O₃	9,15
MgO	7,10
Fe₂O₃	4,30
CaO	3,70
CO₂	2,85
K₂O	0,33
P₂O₅	0,28
TiO₂	0,25
Na₂O	0,19
MnO	0,01
Total dosé	98,99 g

- ❖ Les fillers de Toglou : les résultats d'analyse chimique effectuée sur un échantillon sont consignés dans le tableau IV

**Tableau IV: Résultat de l'analyse chimique d'un échantillon des grès de Toglou
(Diagne, 1996)**

Composition chimique	Pourcentage (%)
SiO₂	89,30
Al₂O₃	2,43
Fe₂O₃	5,15
SO₃	0,73
P. Feu	0,24
CaO	0,24
MgO	0,12
Total dosé	98,21 g

2.2-Identification du mélange

2.2.1-Historique des géopolymères

Pendant vingt-cinq ans, la science des géopolymères n'était étudiée que dans un nombre restreint de laboratoires ; ce n'est que durant ces dix dernières années que la recherche mondiale sur les géopolymères s'est développée de façon significative. Cette nouvelle situation fut présentée par le Professeur Davidovits dans sa conférence plénière sur les géopolymères en 2010.

2.2.2-Définition

Le terme géopolymères désigne des polymères minéraux synthétiques à structure tridimensionnelle de la famille des aluminosilicates. Les géopolymères présentent une grande résistance mécanique, au feu, à la chaleur en milieu acide.

Les géopolymères sont formés par la réaction d'un aluminosilicate avec une solution alcaline sodique ou potassique et ils sont définis comme étant des chaînes ou des réseaux de molécules minérales liés par des structures covalentes dont les charges négatives sont balancées par les cations alcalins présents dans la solution.

Selon Davidovits (2010) le fondateur de la géopolymérisation, l'ajout de la solution alcaline sur les silicates d'alumine entraîne un processus de polymérisation par liaison des oligomères qui aboutit à des polymères inorganiques similaires aux zéolites et pouvant résister aux conditions climatiques les plus défavorables. En effet, certains chercheurs leur attribuent le terme de liants alcalins du fait de leur résistance mais aussi de leur capacité adhésive.

Les matériaux de bases utilisés pour la synthèse de ces géopolymères étaient d'abord les métakaolins, puis ils se sont élargis à toutes les sortes de source d'aluminosilicates, que ce soient des sous-produits industriels ou bien des matériaux pouzzolaniques comme les cendres, les laves volcaniques....

2.2.3-Structure, processus de formation et domaines d'application

- ❖ La structure d'un géopolymère se présente sous forme d'un réseau tridimensionnel d'aluminosilicates et de cation alcalin. On distingue une grande variété de ces géopolymères qui sont constitués par des unités moléculaires différentes selon le matériau de départ.
- ❖ Les réactions chimiques qui mènent aux géopolymères suivent tout un processus qui peut être résumé en trois étapes:
 - Dissolution après hydrolyse des atomes Si et Al dans la solution alcaline c'est à dire rupture des liaisons Si-O-Al
 - Réorientation des ions précurseurs en solution
 - Polycondensation et polymérisation
- ❖ Les géopolymères s'appliquent dans plusieurs domaines tels que le génie civil, la métallurgie, l'art, la décoration, l'encapsulation des déchets radioactifs...

2.2.4-Mise en œuvre des solutions

Lors de notre expérimentation, on a utilisé comme activant de l'hydroxyde de sodium sous forme de grain solide pur à 98 %.

La raison de notre choix, au-delà du fait que le sodium est un alcalin, c'est sa disponibilité sur le marché, son coût faible (500 FCFA/kg) et sa réactivité. L'hydroxyde de sodium sous différentes masses est mélangé avec de l'eau distillé pour obtenir des solutions de concentration différentes.

Pour réaliser cette solution d'hydroxyde de sodium à des concentrations variables appelées respectivement :

- ❖ C1 pour la solution de concentration molaire= 4 moles ou 160 g NaOH/ litre de solution.
- ❖ C2 pour la solution de concentration molaire= 8 moles ou 320 g NaOH/ litre de solution.
- ❖ C3 pour la solution de concentration molaire= 12 moles ou 420 g NaOH/ litre de solution

On détermine la masse d'hydroxyde de sodium dans une quantité d'eau distillée donnée. Pour ce faire, nous avons utilisé un volume d'eau distillé de 10l pour chaque concentration, ce qui nous a permis d'opérer le calcul suivant :

$$m = C.M.V$$

Avec **m**= masse d'hydroxyde de sodium (en grammes) ; **C**= concentration de NaOH recherchée ; **M**= masse molaire moléculaire de l'hydroxyde de sodium (40 g/mol) et **V**= volume d'eau (10 litres)

On aura $m_1 = 1600$ g, $m_2 = 3200$ g et $m_3 = 4800$ g

On a constaté une saturation qui se présente sous forme de plaquette au fond de la bouteille pour les solutions de concentration C2 et C3. Ce qui nous a permis après coup de recalculer ces deux concentrations en procédant comme suit :

- Soit P2 le poids de la bouteille vide qui contient la solution de concentration C2 et P3 celui de la solution de concentration C3.
- Soit P4 le poids total de la bouteille contenant la plaquette de soude non dissoute provenant de la solution de concentration C2 et P6 celui de C3. En effet après avoir récupéré le liquide, on pèse de nouveau la bouteille avec la plaquette de soude, ce qui nous a donc donné P4 et P6.
- En faisant les différences $P_4 - P_2$ et $P_6 - P_3$ on aura respectivement les masses des plaquettes de soude pour les solutions C2 et C3.
- On fait le rapport entre cette masse et la masse initiale pour déterminer un coefficient qu'on affectera à la concentration théorique.
- En faisant la différence entre la concentration théorique et cette concentration, on aura une nouvelle concentration.
- Après calcul on aura C2 nouvelle= 6,4M et C3 nouvelle= 7,4M

Cependant, la soude qu'on a utilisée pour notre expérience peut causer des brûlures. D'où la nécessité de prendre beaucoup de précautions lors de sa manipulation, à savoir le port des gants, des masques, des lunettes et une blouse. La réaction est très exothermique, c'est pourquoi il importe de mettre la bouteille dans un bassin rempli d'eau pour éviter tout réchauffement.

2.3. Les essais de laboratoire

2.3.1. Introduction

Les essais de laboratoires sont extrêmement importants dans la mesure où ils permettent une bonne identification des matériaux et leur caractérisation. Les résultats de ces essais nous permettent de bien évaluer les performances des inserts céramiques.

2.3.2 Analyse granulométrique (NFP 94-056)

2.3.2.1 Définition et but de l'essai

La granularité est la répartition en poids des grains d'un matériau suivant leurs dimensions. L'analyse granulométrique permet de définir la répartition des grains constitutifs d'un échantillon par classes de tailles. Elle comprend trois étapes principales: l'échantillonnage, le lavage et le tamisage.

2.3.2.2 Mode opératoire

- On prélève 500 g à 300 g de matériau qui sera étuvé pendant 24 h.
- On procède au tamisage à l'aide de la série de tamis normalisés (figure, 2 et 3) de diamètre décroissant de haut en bas 80-64-50-40-25-16-8-4-1,6-0,8-0,4-0,16-0,08 mm
- Pour chaque tamis on pèse le refus et on détermine le pourcentage
- Une fois le pourcentage déterminé, on trace la courbe granulométrique avec en abscisse le diamètre des tamis et en ordonnée le poids cumulé ou passant cumulé. Les résultats de notre essai sont consignés sur la feuille d'essai (analyse granulométrique, voir annexe). La courbe granulométrique est caractérisée par le coefficient d'uniformité C_u de **Hazen** et le coefficient de courbure C_c . L'échantillon de matériau est bien gradué lorsque C_u supérieure à 4 C_c compris entre 1 et 3.



Figure 3: Illustration de la granulométrie



Figure 4: Les séries de tamis

2.3.3 Sédimentométrie (NFP 94-057)

La sédimentométrie est employée pour définir la répartition des particules fines. Elle complète l'analyse par tamisage. La sédimentation qui est la décantation par gravité des grains d'un échantillon mis en suspension dans un liquide visqueux se réalise à des vitesses différentes selon le diamètre des grains. La loi de **Navier-Stokes** exprime la relation qui existe entre la vitesse de décantation et le diamètre des particules sphériques. L'essai consiste à mesurer après un temps de décantation donné, la densité de la suspension à une profondeur. Cette opération est répétée plusieurs fois afin de connaître le pourcentage des particules de différents diamètres.

2.3.3.1. Mode opératoire

On recueille le passant du tamis 0,08 mm, on l'étuve jusqu'à dessiccation complète. On prélève 20g de ce matériau et on l'imbibe pendant 24 h dans de l'eau qui constitue le liquide de suspension auquel on ajoute 1g d'héxamétaphosphate de sodium qui joue le rôle de défloculant. Enfin la suspension est placée pendant 3 min dans un agitateur mécanique. On verse dans une éprouvette de 2 litres la suspension ainsi préparée et le volume est complété par addition d'eau distillée. Puis l'ensemble est soumis à un agitateur manuel. En fin d'agitation, on relève la température de la suspension et on déclenche le chronomètre, ce qui définit le début de la sédimentation. On mesure ensuite la densité aux temps suivants: 15 s, 30 s, 1 min, 2 min, 5 min, 10 min, 20 min, 40 min, 80 min, 120 min, 24 h et 48 h.

Pour chaque lecture de densité, on calcule la concentration en pourcentage en fonction du volume de la suspension, du poids et de la densité des grains (figure 5).



Figure 5: Illustration de la densimétrie

2.3.4. Détermination des limites d'Atterberg (NFP 94-051)

Elle caractérise l'état dans lequel se trouve le matériau. Les limites d'Atterberg sont des constantes physiques conventionnelles qui marquent les seuils entre le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique. On détermine la limite de liquidité WL et le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide et du coup on en définit la limite de plasticité WP. Ces limites ont pour valeurs la teneur en eau du sol à l'état de transition considéré.

2.3.4.1 Mode opératoire

L'opération s'effectue à l'aide d'une coupelle de casagrandé (figure 6) Après l'échantillonnage, on choisit environ 1500 g de matériaux qu'on trempe dans l'eau. Si les matériaux sont compacts, il faut 24 h au moins puis on lave avec un tamis de 0,4mm. On récupère ensuite les fines et le refus est jeté.

Le matériau est ensuite récupéré et malaxé avec de l'eau sur la table jusqu'à ce qu'on ait une pâte presque fluide et uniformément liquide.

- La limite de liquidité est déterminée à partir de la courbe de la teneur en eau en fonction du nombre de coups. En effet, cette courbe nous donne la valeur du vingt cinquième coup qui correspond à la limite de liquidité WL.
- La limite de plasticité WP est obtenue en faisant la moyenne arithmétique des teneurs en eau des fragments de rouleaux obtenus à partir de deux essais.



Figure 6: Illustration de la coupelle de Casagrandé

2.3.5. Essai Proctor normal (NFP 94-093)

L'essai Proctor (figure 7) permet de mesurer la teneur en eau qui permet d'obtenir après un compactage donné du matériau une valeur maximale de la densité sèche.

L'essai consiste à compacter dans un moule et suivant un processus bien défini une série d'échantillons identiques et représentatifs du sol probablement imbibé à des teneurs en eau croissantes qui favorise la mise et le serrage des grains.



Figure 7: Illustration de l'essai Proctor

2.4. Analyse des résultats et interprétation

2.4.1. Introduction

Les analyses granulométriques, la détermination des limites d'Atterberg et l'essai Proctor normal nous ont permis d'avoir les résultats nécessaires à la bonne conduite de notre étude. Dans ce chapitre, nous essayerons dans un premier temps de faire une présentation des résultats et dans un second temps on procédera à l'interprétation des données.

2.4.2. Présentation des résultats

2.4.2.1 Présentation des résultats des essais effectués sur chaque matériau

Les différents résultats des essais sont présentés dans le tableau V :

Tableau V: Caractérisation géotechnique des matériaux de base

CARACTERISTIQUES D'IDENTIFICATION ET DE COMPACTAGE				
		TCHIEKY	SEBIKHOTANE	TOGLOU
Granulométrie	% ELEMENTS >16 mm	-	-	-
	% ELEMENTS 16 mm >Ø > 1,6 mm	-	-	-
	% ELEMENTS 1,6 mm >Ø> 0,08 mm	0,5	9,5	59
	%ELEMENTS < 0.08mm	99,5	90,5	41
	%ELEMENTS< 50 µm	96,3	85,3	11,5
	%ELEMENTS< 5 µm	54,8	33,5	-
LIMITES D'ATTERBERG	I.P	59	58	13
ESSAI PROCTOR NORMAL	Ydmax g/cm ³	1,42	1,31	1,69
	W optimum %	25,25	34,72	19,74

2.4.2.2 Présentation des résultats du mélange des trois matériaux avec les différentes solutions

Les résultats des essais sont consignés dans le tableau VI

Tableau VI: Caractérisation géotechnique du mélange des trois matériaux avec les différentes solutions

	Mélange cru	Solution C1	Solution C2	Solution C3
Limite d'Atterberg	WL= 82 % WP= 29 % IP= 53	WL= 82 % WP= 36 % IP= 46	WL= 80,5 % WP= 31 % IP= 49,5	WL= 82 % WP= 32 % IP= 50
Proctor normal	Ydmax=1,59 g/cm ³ Wopt= 15,42 %	Ydmax=1,62 g/cm ³ Wopt= 9,51 %	Ydmax= 1,64 g/cm ³ Wopt= 10,63 %	Ydmax= 1,64 g/cm ³ Wopt= 12,42 %

2.4.3. Interprétation des résultats des essais géotechniques

Les analyses granulométriques de Thiéky et de Sébikhotane montrent que ces deux matériaux sont des limon-argileux. Par contre l'analyse du matériau de Toglou montre que c'est un sable-limoneux.

Les valeurs du coefficient d'uniformité de **Hazen** $C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ et du coefficient de courbure

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} :$$

- ❖ Pour les argiles de Thiéky, C_u tend vers l'infini et $C_c = 0$, conclusion le matériau est mal gradué.
- ❖ Pour les argiles de Sébikhotane, $C_u = 13,84$ et $C_c = 0,68$, le matériau est mal gradué.
- ❖ Pour les grès de Paki-Toglou, $C_u = 22,85$ et $C_c = 0,1$, le matériau est mal gradué.
- ❖ Les indices de plasticité très élevés pour les argiles de Thiéky ($IP = 59$, de Sébikhotane ($IP = 58$), montrent qu'ils sont très actifs, ce qui confirme leur argilosité. Par contre, la

valeur faible de Toglou (la donnée « IP=13 » confirme que ce n'est pas un matériau argileux).

- ❖ L'analyse des résultats obtenus à partir de l'essai Proctor rend compte des volumes maximums pour mouiller nos matériaux.

2.4.4. Interprétation des résultats du mélange des trois matériaux

- ❖ L'analyse des résultats obtenus à partir de la limite d'Atterberg nous permet de voir une variation des limites de liquidités et de plasticité. On a constaté que IP est plus élevé pour les solutions C2 et C3 et cela nous permet de conclure que ces deux solutions seront beaucoup plus adaptés à nos inserts du moment que la perforation sera plus facile grâce à la plasticité élevée. Cependant en comparant ces valeurs avec celle du cru, on a constaté qu'il n'y a pas beaucoup d'amélioration. On a constaté aussi que plus la concentration de la solution est élevée, plus on s'approche de l'IP du mélange cru. Ce qui nous permet de conclure que le traitement par activation alcaline n'a pas beaucoup d'effet sur l'indice de plasticité.
- ❖ On a remarqué le même phénomène en ce qui concerne la portance des matériaux même si celle-ci a augmenté en fonction de la concentration tout en restant néanmoins plus faible par rapport au cru. Cet état de fait nous permet de voir après coup que l'activation alcaline n'a pas d'effet sur la portance.

2.4.5. Interprétation des résultats de l'analyse chimique

❖ Pour les argiles de Thiéky

Composition chimique

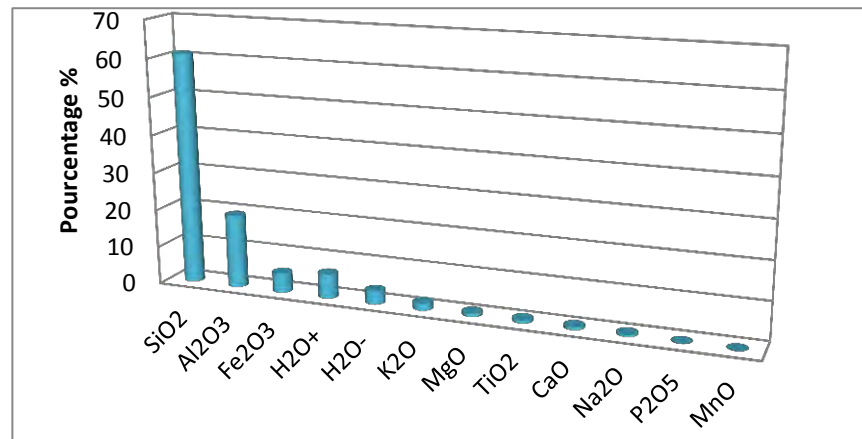


Figure 8: Composition chimique des argiles de Thiéky

L'analyse de la figure 8 nous permet de voir que les composants les plus représentatifs sont : SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃. On constate que les argiles de Thiéky présentent une variation importante de différents constituants. Cette variation peut être expliquée par la nature et la genèse du minéral.

❖ Pour les argiles de Sébikhotane

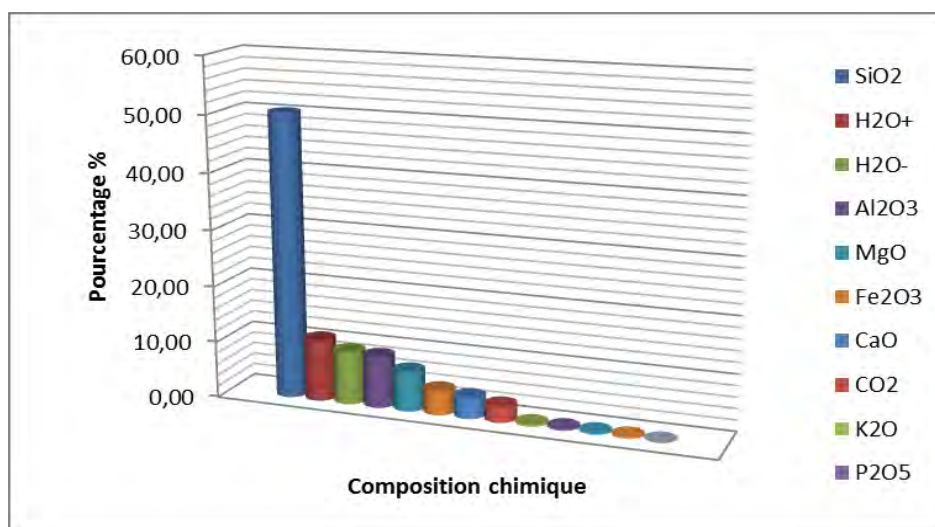


Figure 9: Composition chimique des argiles de Sébikhotane

L'analyse de la figure 9 nous montre que les éléments les plus représentatifs sont : SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , H_2O^- , H_2O^+ et MgO . Par contre les éléments comme le CaO et le CO_2 sont en quantité moyenne. Comme les argiles de Thiéky, les argiles de Sébikhotane présentent une variation importante de ces différents constituants selon des teneurs diverses.

❖ Pour les fillers de Toglou

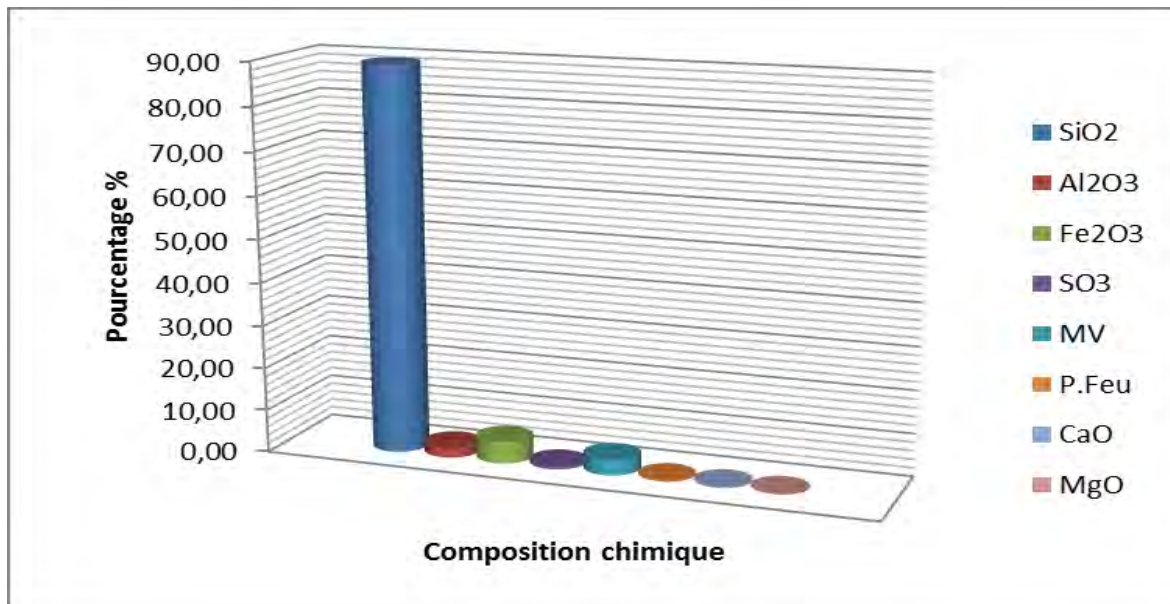


Figure 10: Composition chimique des grès de Toglou

L'analyse de la figure 10 nous permet de voir que les éléments les plus représentatifs sont : la silice et le fer. Par contre les quantités de matière organique et d'alumine sont faibles. La teneur de ces différents constituants peut être expliquée par la nature du minéral car l'étude de la genèse des grès de Toglou montre la présence de ces minéraux.

2.4.6 Conclusion partielle

Les essais de laboratoire sont extrêmement importants, leur étude nous a permis après coup de connaître la nature de nos matériaux et leur teneur en eau en vue de se prononcer sur leur résistance. Les analyses chimiques nous permettent donc d'avoir une petite idée sur la composition de nos matériaux.