IMPACT DE L'EROSION SUR LES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'ARGILE DE BOUNDJI (DEPARTEMENT DE LA CUVETTE EN REPUBLIQUE DU CONGO)

ARISTIDE URBAIN MADINGOU GOT

Doctorant à la Formation doctorale de Géographie

madingouaristide@gmail.com

Université Marine NGOUABI

Résumé

Au travers de cet article, nous nous intéressons à l'érosion mécanique des sols, plus précisément aux propriétés physico-chimiques de l'argile de Boundji au Nord-Est du Congo dans le département de la Cuvette. L'objectif de cet article est d'offrir une méthodologie basée sur l'analyse granulométrique et chimique de l'argile de Boundji en vue d'apprécier le mécanisme des eaux d'infiltration dont la résultante est l'érosion. L'impact de l'érosion est mis en œuvre grâce à l'analyse de plusieurs tests effectués en 2014 sur l'échantillon prélevé dans le district de Boundji. Parmi ces tests, on peut citer le triangle des textures, le diagramme de shepard, la teneur chimique en pourcentage, la limite de liquidité, la limite de plasticité, l'indice de plasticité et le diagramme de casagrande. Les sols de Boundji sont de trois catégories : les sols hydromorphes sous prairies flottantes, les sols ferralitiques et hydromorphes alluviaux, les sols ferralitiques et hydromorphes sur sables. L'analyse granulométrique de l'échantillon de sol indique 50% de sables, 30 % de limons et 20 % d'argiles. Tous les tests effectués sur l'échantillon ne peuvent guère expliquer la naissance du phénomène érosif dans le district de Boundji. A cela, s'ajoute le type de climat que l'on rencontre dans cette zone mais aussi les facteurs anthropiques.

Mots clés : *Impact, érosion, propriétés physico-chimiques, argile, Boundji.*

Abstract

Through this article, we are interested in the mechanical erosion of soils, specifically the physico-chemical properties of Boundji clay in northeastern Congo in the department of Cuvette. The objective of this article is to offer a methodology based on granulometric and chemical analysis of Boundji clay in order to appreciate the mechanism of infiltration water whose resultant is erosion. The impact of erosion is implemented through the analysis of several tests carried out on the sample taken in the Boundji district. Among these tests, one can quote the triangle of the textures, the diagram of shepard, the chemical content in percentage, the limit of liquidity, the limit of plasticity, the index of plasticity and the diagram of casagrande. The soils of Boundji are of three categories: hydromorphic soils under floating meadows, ferralitic and hydromorphic alluvial soils, ferralitic and hydromorphic soils on sands. Granulometric analysis of the soil sample indicates 50% sands, 30% silt and 20% clay. All the tests carried out on the sample can hardly explain the birth of the erosive phenomenon in the district of Boundji. To this is added the type of climate that we encounter in this area but also the anthropogenic factors.

Key words: *Impact, erosion, physicochemical properties, clay, Boundji*

Introduction

L'érosion hydrique est un processus naturel de dégradation des terres, causé par les pluies, qui se traduit par le déplacement des terres d'un point surélevé vers un autre en contrebas. Elle est liée à plusieurs facteurs qui sont naturels qu'anthropiques. Sous l'angle des facteurs naturels, nous nous sommes appesanti sur la composition physico-chimique de l'argile dans le district de Boundji. Cette composition physico-chimique nous renseigne sur l'effet érosif des eaux de ruissellement. Sur cet aspect, nous avons mis un accent particulier sur la nature des argiles en examinant les limites de liquidité, de plasticité et leur indice de plasticité.

Zone d'étude

Le département de la Cuvette compte neuf districts : Owando, Makoua, Boundji, Mossaka, Loukoléla, Oyo, Ngoko, Ntokou, Tchikapika. Il est limité au nord par les départements de la Sangha et de la Likouala, au sud par le département des Plateaux, à l'ouest par le département de la Cuvette-Ouest et à l'est par le département de la Likouala et le fleuve Congo (figure 1).
Le district de Boundji compte 16015 habitants (RGPH-2007) et est limité au nord par le district d'Owando, au sud par le district d'Okoyo et le département des Plateaux, à l'ouest par le département de la Cuvette-Ouest et à l'est par le district d'Owando (figure 1).

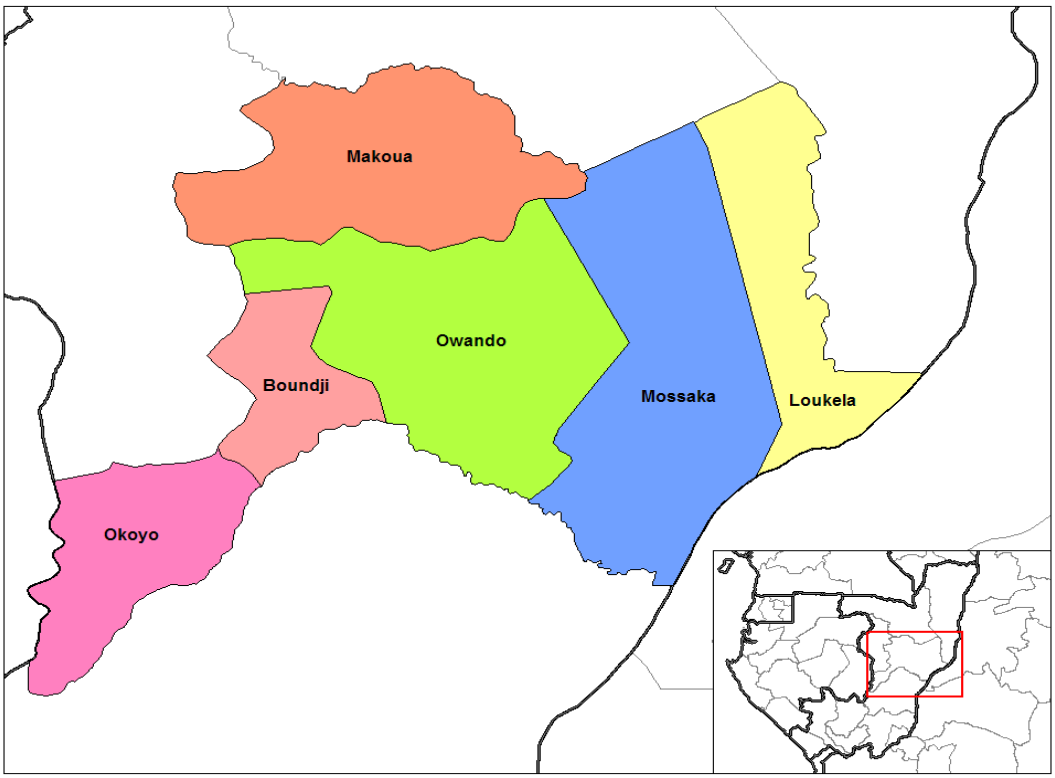


Figure 1 **: Situation géographique du district de Boundji**

Le district de Boundji, sous-ensemble de la Cuvette, est caractérisé par un climat de type subéquatorial. Ce climat est sous l'influence prépondérante des basses pressions intertropicales d'octobre à mai et des hautes pressions subtropicales australes de juin à septembre. Les températures moyennes oscillent entre 23 °C sur les hauts plateaux Batéké et 26°C sur les bas plateaux et la Cuvette congolaise, avec un écart thermique annuel faible de l'ordre de 2°C et un régime thermique bimodal à deux maximums (mars-avril et septembre-octobre) et deux minimums (juillet et décembre). Il tombe en moyenne 1400 à 2500 mm d'eau (Atlas du Congo 2001).

1. Matériels et méthodes

1.1 Matériels

Plusieurs appareils ont été utilisés par le traitement et la quantification de nos données. Il s'agit entre autres d'un dispositif de lavage (assiette et sceau), d'une série de tamis de tailles (2,0mm ; 1,0mm ; 0,4mm ; 0,2mm et 0,08mm), d'une balance électrique, d'une étuve, d'un densimètre de forme torpille du type Bouyoucos gradué de 0,995 à 1,030 g/cm^3, d'une éprouvettes de 2 litres, d'un agitateur mécanique de type « plongeant », d'un agitateur manuel pour l'homogénéisation de la suspension avant l'essai, d'un thermomètre gradué, d'un chronomètre (donnant la seconde), d'un défloculant (hexamétaphosphate de sodium), d'une eau distillée et d'une balance électrique.

1.2. Méthodologie

La méthodologie utilisée pour l'étude est basée sur trois principes : l'analyse granulométrique, l'analyse chimique et l'élimination de la matière organique par la méthode thermique.

1.2.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a été réalisée au Bureau de Contrôle des Bâtiments et Travaux Publics (BCBTP), selon deux normes : NFP94-056 pour le tamisage et NFP94-057 pour la sédimentométrie.

1.2.2. Analyses chimiques

Le principe de l'analyse par I.C.P consiste à faire passer l'échantillon mis en solution dans un plasma constitué d'argon partiellement ionisé à une température élevée (4200 à 6000 k). Les contenues dans la solution sont dissociées et des atomes sont excités par le plasma. Ces

derniers sont portés à des niveaux supérieurs (E_2) dans lesquels ils sont instables. Leur retour spontané à l'état initial (niveau d'énergie E_1) s'accompagne d'une émission des rayonnements de fréquence de telle sorte que : $H_\lambda = E_2 - E_1$ (1)

L'énergie du photon est caractéristique de l'élément. La lumière émise par le plasma est dans ce cas analysée. La lumière émise par l'élément recherché est alors détectée et mesurée, et son intensité comparée à celle émise par le même élément contenu dans un échantillon de concentration connue, analysé dans les mêmes conditions.

L'analyse chimique des éléments majeurs est réalisée par spectrométrie par torche à plasma après fusion dans le borate du lithium au service d'analyse des roches et minéraux (SARM) au centre de recherche pétrographique et géologique de Nancy (France).

1.2.3. Elimination de la matière organique par la méthode thermique.

Cet essai a été réalisé au ministère des Arts et de la Culture (MAC). Nous avons broyé et fait passer l'échantillon de Boundji par un tamis de module 34, puis peser 400g. Ensuite, l'échantillon a été placé dans un four et chauffé à une température de 300°c pour l'élimination de la matière organique (photo 1).



Photo 1: Four de la MAC

Planche 1 : matériel utilisé

L'échantillon prélevé a été fondu, pesé, calciné et pesé afin de jauger la masse avant et après le traitement (photos 2 et 3).



Photo 2 **: Echantillon de Boundji avant calcination**



Photo 3 : Echantillon de Boundji après calcination

2. Résultats et discussion

Lors de nos recherches, les échantillons prélevés dans le district de Boundji ont été analysés dans divers centres et bureaux de recherches. Pour la granulométrie, c'est au niveau du bureau de contrôle des bâtiments et travaux publics (BCBTP) que nous avons testé nos échantillons. La figure 2 qui représente une courbe granulométrique montre la décroissance considérable des éléments que renferme l'échantillon analysé. Dans cet échantillon, on trouve trois éléments essentiels : les argiles, les limons et les sables. La composition granulométrique de ces éléments est consignée dans le tableau I.

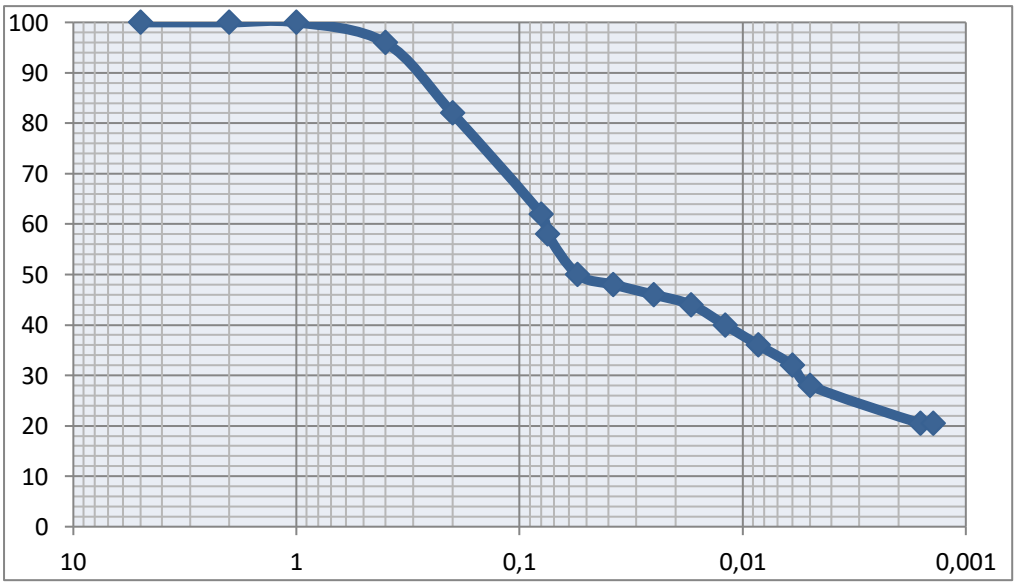


***Figure 2*-Courbe d'analyse granulométrique de l'échantillon prélevé à Boundji.**

Au niveau du tableau I, on constate que l'échantillon prélevé est constitué de 50% de sable, de 30% de limon et de 20% d'argile.

Tableau I: Résultats d'analyse granulométrique

Composition de l'échantillon de BOUNDJI	Argile < 2 µm	Limon de 2 µm à 50 µm	Sable > 50 µm
Composition en pourcentage (%)	20	30	50

Source : Résultats du laboratoire

Pour mieux définir la texture de l'échantillon prélevé dans le district de Boundji, nous avons utilisé le triangle des textures (figure 3). Dans ce triangle de texture, la position qu'occupe l'échantillon prélevé lui confère la texture limon-sableuse

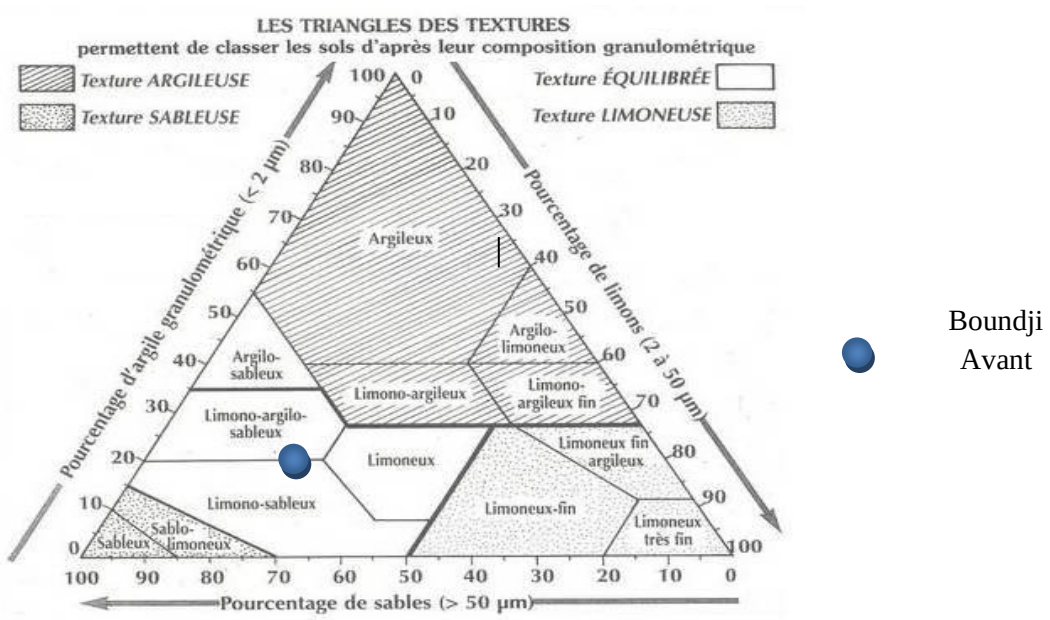


Figure 3 **: Positionnement de l'échantillon de Boundji dans le triangle des textures**

Dondi et *al.* (1998) ont déterminé la fréquence d'utilisation des sols argileux italiens dans la fabrication des céramiques en tenant compte de la texture obtenue à l'aide du diagramme de Shepard et leur impact face à l'érosion (figure 4).

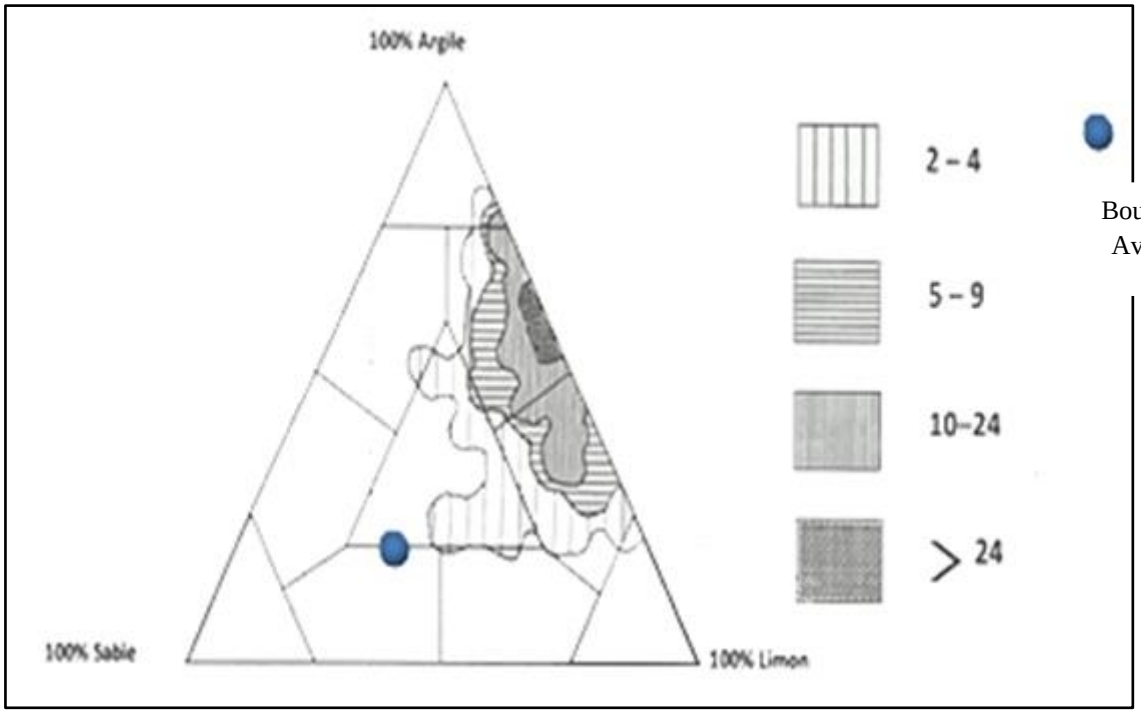


Figure 4 **: Positionnement de l'échantillon de Boundji dans le diagramme de Shepard**

2-4 : Fréquence d'utilisation faible

5-9 : Fréquence d'utilisation moyenne

10-24 : forte Fréquence d'utilisation

> 24 : Très forte Fréquence d'utilisation

La comparaison de la composition granulométrique de l'argile de Boundji avec les argiles italiennes utilisées dans la production des carreaux céramiques et leur rôle face à l'érosion dans travers le diagramme de Shepard montre que l'argile de Boundji peut atténuer l'action des eaux de ruissellement. L'analyse chimique de l'échantillon réalisée au Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CPRG) de Nancy (France) fournit les teneurs des éléments majeurs (tableau II).

Tableau II: Teneur chimique en pourcentage (%)

Constituants	Echantillon de Boundji
SiO_2	69,34
Al_2O_3	10,95
Fe_2O_3	1,01
MnO	0,02
MgO	0,11
CaO	0,05
Na_2O	0,01
K_2O	0,11
TiO_2	1,52
P_2O_5	0,14
PF	16,59
SiO_2/Al_2O_3	6,33
Total	**22,24**

Source **:** Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques de Nancy

L'analyse du tableau indique un pourcentage très élevé de SiO_2 (69,34%). Par contre la teneur en Al_2O_3 est assez faible (10,35%) et le rapport SiO2/Al_2O_3 est égal à 6,69.

Le rapport SiO_2/Al_2O_3 est égal à 2,93, l'analyse granulométrique avait révélé 65% de fraction inférieure à 2µ et le bilan minéralogique a donné 44,41% kaolinites et 9,58% d'illites soit 53,99% d'espèces argileuses. Nous pouvons donc dire que la teneur des espèces argileuses est faible et donc les espèces apportant Al_2O_3 sont faibles. Ceci est en accord avec les résultats de l'analyse granulométrique (20% fraction inférieure à 2µ)

La perte au feu PF (la perte de poids après chauffage à 1000°C) est assez élevée (16,59%). Elle correspond à la perte de poids due au départ de l'eau adsorbée, au départ de CO_2 des carbonates, à la combustion de la matière organique, à la déshydroxylation des espèces argileuses. Avec 20% de fraction fine, nous ne pouvons pas nous attendre à une perte importante due à la déshydroxylation. Les teneurs en CaO et MgO très faibles (0,11 et 0,05)

indiquent que la perte due à la décarbonation des calcaires est négligeable. Le taux de Fe_2O_3 étant aussi faible (1,01%), la déshydratation de la goethite ne peut être élevée. Alors nous pouvons considérer que la perte au feu est due en grande partie à la combustion de la matière organique.

N'ayant pas déterminé la teneur en matière organique, nous nous permettons de l'estimer à partir de la coloration noire du sol étudié. En effet la présence de la matière organique s'exprime par la coloration foncée d'un sol. L'argile de Boundji après calcination à 300°C voit son poids réduit et sa coloration passant de la coloration noire à la grise (tableau III).

Tableau III : Résultats de l'élimination de la matière organique

Echantillon de Boundji	Masses en g	Coloration
Avant traitement	400	Noire
Après traitement	382	Grise

Source : Résultats du Laboratoire

Le chauffage n'a pas atteint son poids constant et l'argile n'a pas été préalablement chauffée à 105°C pour éliminer l'eau. Pour apprécier l'impact de l'érosion sur le sol de Boundji, nous nous sommes focalisé sur les limites d'Atterberg qui présente trois aspects : la limite de liquidité, la limite de plasticité et l'indice de plasticité. Les résultats obtenus avant et après le traitement de l'échantillon sont consignés dans le tableau IV.

Tableau IV: Résultats des limites d'Atterberg

Echantillon de Boundji	limite de liquidité (WL)	Limite de plasticité (WP)	Indice de plasticité (Ip)
Avant traitement	41,9	21,0	20,9
Après traitement	34	15,6	18,4

Source : Résultats du Laboratoire

Les valeurs des limites d'Atterberg de l'argile de Boundji sont relativement élevées. Généralement, les limites d'Atterberg sont proportionnelles à la teneur en argiles (fraction $< 2\ \mu$). Les études réalisées par Batekidila (2008) dans le département de Mouyondzi montre que l'argile de cette localité à un pourcentage élevé (65%) mais leurs limites de liquidité et de plasticité épousent respectivement 33, 2 et 19,2 contre 41,9 et 21,0 pour les limites de liquidité et de plasticité dans la localité de Boundji avant le traitement. Les matières organiques avec une forte capacité de rétention d'eau peuvent augmenter les limites de

consistance d'un sol. Hussein a indiqué que la limite de plasticité et la limite de liquidité sont proportionnelles à la teneur en matières organiques. Les particules organiques sont hautement colloïdales et leur surface spécifique ainsi que leur capacité d'adsorption d'eau sont bien supérieures à celles présentées par des argiles plus précisément, kaolinite et illite, mais faibles à celles de la montmorillonite (Hussein, 1998). Après le traitement, la limite de liquidité perd 7,9 et celle de plasticité 5,4 contre 2,5 pour l'indice de plasticité. Ses variables montrent la faible capacité qu'à l'argile de Boundji pour l'effet de rétention d'eau. Banzouzi Samba (2013) souligne le même aspect pour l'argile de Makoua. Le manque de rétention d'eau est un élément important pour le déclenchement du phénomène érosif dans le district de Boundji.

Après calcination de l'argile de Boundji à 300°C, nous assistons à une diminution des limites d'Atterberg. Des résultats analogues ont été observés antérieurement. En effet Zentar et *al*. (2008) ont montré une diminution sensible des limites d'Atterberg après élimination de la matière organique par l'eau oxygénée.

En positionnant l'échantillon de Boundji avant et après le traitement dans l'abaque de Casagrande (figure 5), on constate que l'argile de Boundji est une argile moyennement plastique. Elle évolue vers la zone des argiles peu plastiques après élimination de la matière organique.

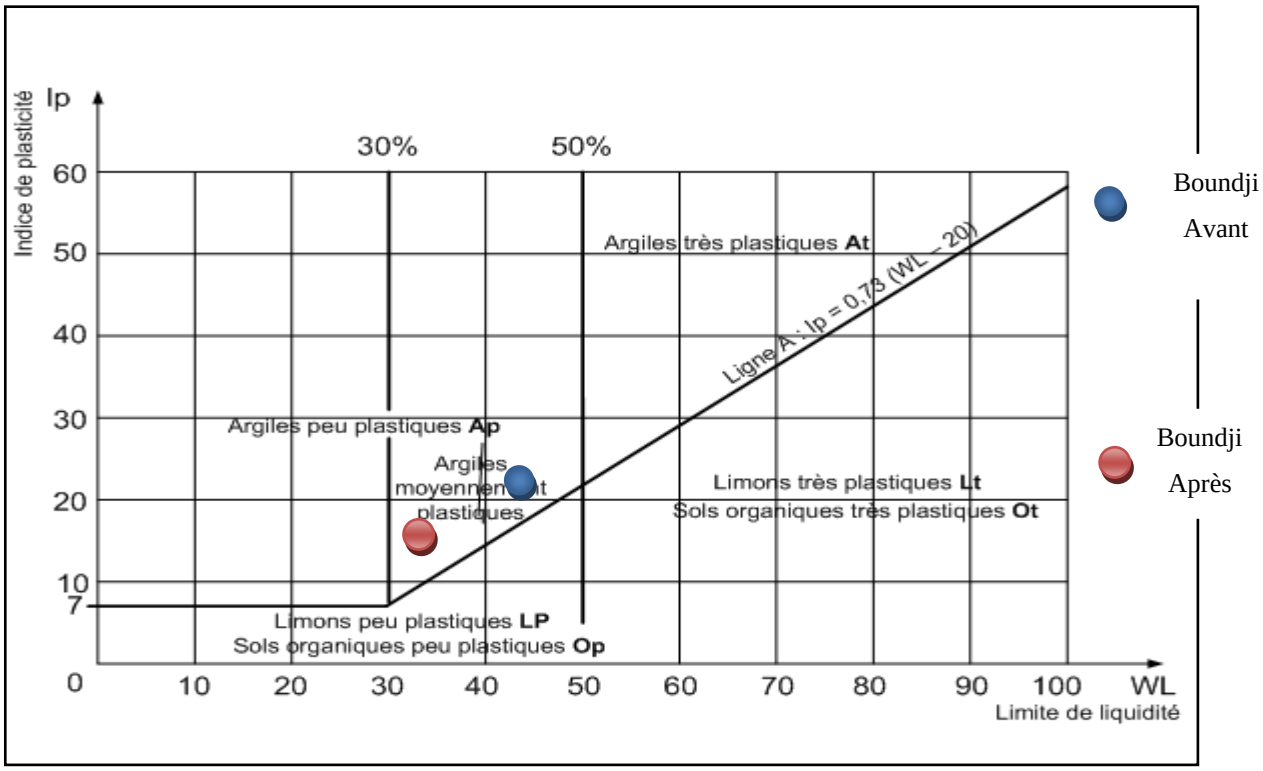


Figure 5 **: Positionnement de l'échantillon de Boundji avant et après le traitement dans l'abaque de Casa grande**

Pour approfondir nos analyses, le traitement de l'échantillon d'après l'activité selon Skempton était nécessaire. Les résultats avant et après le traitement de l'échantillon sont consignés dans le tableau V.

Tableau V : Valeur d'activité selon Skempton

Echantillon	Activité
Avant traitement	1,045
Après traitement	0,92

Source : Résultats de Laboratoire

La valeur 1,045 de l'échantillon de Boundji laisse penser à une argile normale selon la classification. Après chauffage à 300°C, nous assistons à une diminution de l'activité. Nous supposons que l'activité aurait encore baissé si l'élimination de la matière organique devrait être totale. La présence de la matière organique confère une activité à un sol qui s'additionne à celle de l'argile donc facilement érodable par les eaux de ruissellement.

Après analyse de l'échantillon, diverses questions étaient sans réponses. Pour y remédier, la détermination du potentiel en hydrogène s'avère très important. Le pH eau autrement dit

l'acidité active indique que ce sol est très acide. Avec un pourcentage relativement faible l'acidité de ce sol peut s'expliquer par la présence importante de la matière organique qui essentiellement est constituée d'acides humiques. L'acidité potentielle exprimée par le $pH_{(KCl)}$ (2,76) est élevée. Pour apprécier l'acidité et la basicité d'un sol, il est important de déterminer l'écart qui existe entre le pH $_{(eau)}$ et le $pH_{(KCl)}$. Pour l'échantillon prélevé à Boundji, l'écart entre le pH $_{(eau)}$ et le $pH_{(KCl)}$ est égal à 0,84.., correspondant à un potentiel d'acidification moyen comme l'on soulignés Saidi et *al.* (2008). La détermination du potentiel d'hydrogène en eau et en chlorure de potassium est consignée dans le tableau VI.

Tableau VI : Résultats du potentiel en Hydrogène

Echantillon	**pH_{eau}**	**pH_{KCl}**
Echantillon brut de Boundji	3,60	2,72

Source : Résultats de Laboratoire

Avec 20% de fraction argileuse, la valeur de 16,95 méq/100g semble très élevée. D'après Batekidila (2008), l'argile de Mouyondzi qui a une fraction argileuse égale à 65% n'a que 8,66 meq/100g de capacité d'échange cationique. Dans la mesure où les capacités d'échange cationique dues à la matière organique et à la fraction argileuse peuvent être additives (Saidi et *al.*, 2008), nous sommes enclin à considérer que la valeur relativement élevée de la capacité d'échange cationique de l'échantillon de Boundji proviendrait de la présence abondante de la matière organique de ce sol. La capacité d'échange cationique après traitement (16,58 méq/100g) décroit légèrement et la différence entre l'échantillon avant et après le traitement est 0,37 méq/100g (tableau VII). La matière organique n'ayant pas été détruite totalement en est certainement la cause.

Tableau VII : Résultats de la capacité d'échange cationique

Echantillon	**CEC (méq /100g)**
Avant traitement	16,95
Après traitement	16,58

Source : Résultats de Laboratoire

Conclusion

En somme, les propriétés physico-chimiques de l'argile de Boundji sont largement influencées par la texture, la grosseur des grains et la présence de la matière organique. La combinaison de tous ces éléments explique la porosité des roches dans le district de Boundji. Cette porosité laisse des espaces aux eaux d'infiltration. Quand les eaux de ruissellement ne peuvent plus d'infiltrer, on assiste aux déclenchements immédiats du phénomène érosif. Ce phénomène est donc le résultat de plusieurs facteurs : les facteurs climatiques, la nature de la roche (les propriétés physico-chimiques) et les facteurs anthropiques. Toutefois, une analyse microscopique de l'échantillon de Boundji serait la bienvenue pour l'approfondissement de ce sol.

Références bibliographiques

Aboubee, C. (2007) : Retour au sol des matières organiques nécessaire à leur maintien en état de sols agricoles, Rapport, Institut du végétale, p.4-21.

Aboudoulay, A. (2010) : Synthèse et caractérisation des matériaux poreux cours de master II Chimie des matériaux inorganiques, Université Marien NGOUABI 48 p.

Baize, D. (2000) : Guide des analyses en pédologie. 2e édition revue et augmentée, Editions INRA, 257 p.

Banzouzi Samba, V. I. (2013) : Caractérisation des argiles du nord de la République du Congo : Cas de l'argile de Makoua, Mémoire de Master, Université Marien NGOUABI, .40 p.

Batekidila J.V. (2008) : Étude minéralogique, physique et chimique de quelques sols argileux congolais: Cas des argiles de Mouyondzi, d'Impfondo et de la Cuvette centrale, Mémoire de CAPES. Université Marien NGOUABI, 48 p.

Benguella, B. (2009).valorisation des argiles algériennes application à l'adsorption des colorants textiles en solution, Thèse de doctorat de Tlemcen-Ageri

Dondi, M. et *al*. (1998): Grain-size distribution of Italian raw materials for building clay products: a reappraisal of the Winkler diagram, Clay Minerals 33, p.435-442.

DUBOIS, J.P. (1990) : Méthode analytique de l'IATE-pédologie, EPFL : Capacité d'échange au pH du sol. Fiche de laboratoire p. 1-12.

Gerges Siegenthaler, domaine de vens-L-Haut F-74910 Seyssel, France www.domainedevns.com.

Hussein, A. I. et *al.* (1998): Effects of organic matter on the physical and the physicochemical properties of an illitic soil" Applied Clay science 14 (1999]; p. 257- 278.

Loubaki R. (2015) : Caractérisation physique et minéralogique de l'argile de Madingou, Mémoire de Master, Université Marien NGOUABI, p.1-45.

Mouaziz, S. (2012) : Préparation et caractéristique des bentonites modifiées par des sels de Bis-imidazolium-Application à l'adsorption du bleu Telon, Mémoire de Master, Université I Abou BekrBelkaid-Tlmecen

Moutou, J.M. et *al.* (2012): Mineralogy and thermal Behavious of the Kaolinitic clay of Loutété, Research journal of Environmental Earth Sciences 4(3), p. 316-324.

Ngouomo, S. (2016) : Caractérisation physico-chimique et minéralogique de deux sols latéritiques prélevés dans la localité de Dolisie. Mémoire de Master, Université Marien NGOUABI, p.

Ntekala, V.R. (2009) : Etude physique, chimique et Minéralogique des sols argileux de Loutété et d'Okessou Ampembe, Mémoire de Master, Université Marien NGOUABI, 52 p

Plumell, C, B6 Chapitre1 (version 2002) CNAM Paris –GEOTECHIQUE

Rita et Silva (2014) : Minéralogie et transformation thermique des matériaux argileux de la région de Marrakech, Maroc Laboratoire Physico-chimique des Matériaux et Environnement, Département de Chimie, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayad 101, 1, p.75-80.

Saidi, D. et *al.*, (2008) :Estimation et signification de la capacité d'échange cationique des sols salés du Cheliff (Algérie) ,*étude et Gestion des Sols, Volume 15, 4,- 241 p.*

Samba, B. (2014) : Etude physique et thermomécanique d'un sol argileux extrait dans la localité du village de Makonogo, Mémoire de Master, Université Marien Ngouabi, 30 p.

Tran Ngoc T. (2009) : Valorisation des sédiments Marin et Fluviaux en technique routier, Thèse de doctorat, Université d'Artois. 239 p.

Zentar et al (2008): effects of soltas ans organic matter on attergimits of dredged marine sendiments. In *Apllied clays Sciences* p. 56-76.