



Etude des boues résiduaire de la station de traitement des eaux de Ziga et examen de leur possible valorisation pour la confection de barrières étanches

David Y. K. TOGUYENI^{1*} et Anne PANTET²

¹*Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement (LPCE), Université de Ouagadougou – BURKINA FASO*

²*Laboratoire Ondes et Milieux Complexes (LOMC), Université du Havre, Bâtiment COREVA-53 rue de Prony- BP540 -76058 Le Havre Cedex-France*

* Correspondance, courriel : togyen@univ-ouaga.bf

Résumé

Dans le contexte social, économique et environnemental actuel du développement durable, la production de boues de décantation dans les stations d'épuration est en constante augmentation et leur gestion requiert des moyens importants. Il est nécessaire d'examiner les nombreuses façons d'utiliser et d'optimiser cette production minérale. Prenant en compte les difficultés du pays, nous nous sommes concentrés sur la contribution combinée des mesures rhéologiques pour caractériser la cohérence et la capacité de faire couler la matière dans les procédés industriels et sur les mesures de filtration de la perméabilité du gâteau ou membrane obtenue par filtration de suspension. Si la rhéologie est un outil performant, nécessitant l'expertise et des équipements coûteux, les tests de filtration sont simples et faciles à exécuter. A travers l'étude de nombreux paramètres (concentration, température, l'ajout de la bentonite), nous avons démontré que les boues de Ziga sont constitués de minéraux en partie des fines et de l'argile, ce qui pourrait être utilisé dans l'ingénierie environnementale et offrir une solution à la gestion efficace des déchets miniers avec le maximum de sécurité.

Mots-clés : *boues de Ziga, barrières étanches, filtration, perméabilité, rhéologie.*

Abstract

Study of sludge waste treatment plant water Ziga and review of their possible exploitation for making waterproof barrier

According to the current social, economical and environmental context of sustainable development, sludge production is increasing and their management is important. It is necessary to examine many ways of use and to optimize this mineral production neither like a waste. Taking into account the difficulties of the country, we focused on the combined contribution on rheological measurements to characterize the consistency and the capacity to flow the material in industrial process and on filtration measurements to the permeability of cake or membrane obtained by suspension filtration. If rheology is a performing tool, needing expertise and expensive equipment, filtration test is simple and easy to perform. Through the study of many parameters (concentration, temperature, bentonite adding), we demonstrated that the sludge

of Ziga could be a potential material constituted with fine and clayey minerals, which could be use in environmental enginery and give solution to manage with more security and efficiency the mining waste.

Keywords: *sludge of Ziga, tight barrier, filtration, permeability, rheology.*

1. Introduction

Les conséquences désastreuses sur l'environnement du développement des pays industrialisés sont aujourd'hui bien identifiées. Ainsi se met en place une ingénierie environnementale responsable, raisonnable et pertinente pour les pays en développement. Le Burkina Faso a mis en place un vaste programme d'installations minières pour l'exploitation de l'or et du manganèse, intéressant des emprises foncières importantes. En parallèle au développement des techniques de prospection, d'exploitation et d'extraction modernes, des mesures environnementales pratiques, robustes, faibles et adaptées sont prises pour la réalisation des aires de lixiviation, le stockage des lixiviats et le stockage des stériles. Les process miniers pour extraire le métal du minerai utilisent pour récupérer l'or des solutions diluées de cyanure. Les solutions percolées sont ensuite traitées pour récupérer le métal. La migration des résidus de mines d'or doit être examinée. Des barrières d'étanchéité complexes doivent être conçues pour ces installations, mettant en œuvre des systèmes constitués par une double ou une simple étanchéité et une couche drainante placés sur un sol support compacté, mettant en œuvre des matériaux manufacturés du type polyéthylène haute densité (PEHD) et des matériaux argileux spécifiques de type bentonite. A ce jour, des expériences tirées des cinq continents, il n'existe pas de produit ayant la meilleure efficacité en terme de barrière que la géomembrane en PEHD, bien que présentant des défauts reconnus, comme le stress cracking, le manque de souplesse, la sensibilité au percement à cause de la faible épaisseur.

Depuis quelques années, les concepteurs ont eu tendance à utiliser des solutions de confinement radicales pour maîtriser les risques liés aux sols pollués, lesquels peuvent conduire à des effets négatifs sur le long terme *Meusy, & Giorni* [1], *ADEME* [2]. Aussi ce concept de confinement complet s'est modéré en mettant à profit certains mécanismes d'atténuation pour viser un rejet éco-compatible pour l'homme et les milieux, mais également en introduisant le principe d'équivalence qui peut être formulé comme suit : *toutes choses étant égales par ailleurs, est ce que la configuration proposée pour la barrière passive procure un niveau de protection équivalent à celui que procure la configuration de base prévue par la réglementation en vigueur ?*

Dans un contexte de développement durable et de valorisation des matériaux locaux, il a été examiné la possibilité d'utiliser des boues résiduaires, provenant de la station de traitement de Ziga, comme un support minéral pour réaliser des barrières d'étanchéité capables de résister à des fortes contraintes pour pallier d'éventuelles faiblesses de la barrière géologique (dite barrière passive). La station de Ziga qui traite les eaux de la retenue sur la rivière Nakambé est située à 45 km au Nord Est de Ouagadougou. Le principe d'équivalence retenu ici, par l'étude d'un matériau alternatif, ne se substitue pas à la nécessité d'étudier le contexte géologique et hydrogéologique qui constitue le préalable au choix de l'implantation des installations de stockage. Les boues de traitement des eaux usées en provenance de la station d'épuration de Ziga, sont actuellement mises en décharge, ce qui est à l'origine des nuisances environnementales : mauvaises odeurs dues au chlore, possibles contaminations des nappes par les métaux lourds.

Par ailleurs, la notion de déchets ultimes (*il s'agit de déchets qui ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux*) nous a conduits à examiner la possibilité de voies de valorisation, notamment du fait de la teneur en matériaux fins et argileux. Ces matériaux alternatifs peuvent être utilisés en fond d'installations de stockage de déchets, sous le dispositif d'étanchéité. Les matériaux argileux ont la capacité d'interagir avec les ions des lixiviats [3] qui migrent. Leur hydratation provoque des échanges entre les cations contenus dans le lixiviat et le cortège d'échange des smectites [4] pouvant altérer la conductivité hydraulique de l'écran d'étanchéité [5]. Signalons que le dispositif de confinement réglementaire prévoit une barrière passive d'une perméabilité maximale à 10^{-9} m/s.

Le fond d'un site de stockage de déchets (stériles) doit permettre d'assurer deux fonctions essentielles (1) la protection du sous-sol vis à vis de toute infiltration de polluants et (2) l'évacuation vers l'extérieur des lixiviats, produits par le process de traitement du minerai. *Paumier et al.* [6] ont montré que cette procédure rapide permet de présélectionner des matériaux susceptibles d'être utilisés pour la conception d'écrans étanches dans des applications environnementales.

Le présent travail vise à la caractérisation de la performance hydraulique et rhéologique de la fraction fine des boues de la station d'épuration de Ziga en vue de leur future mise en œuvre. Il convient de réfléchir lors de la conception des ISD (Installation de Stockage de Déchets) des performances à obtenir en fonction des limites d'utilisation des matériaux alternatifs pressentis.

Les différentes solutions pour constituer une barrière minérale sont soit les sols naturels en place, soit les sols rapportés, compactés renforcés éventuellement par des GSB ou traités et adjuvantés avec des seuils de perméabilité fixés par la législation (en général 10^{-9} m/s) sur une certaine épaisseur. La garantie des performances des barrières repose sur (1) la vérification du potentiel d'étanchéité, (2) la vérification de la bonne mise en œuvre du matériau sur le chantier et (3) la pérennité du potentiel d'étanchéité vis-à-vis des sollicitations de service (chimique, mécanique, thermique et hydraulique). L'épaisseur de la barrière minérale est également un paramètre prépondérant pour le dimensionnement des étanchéités de fond. La propagation des lixiviats peut être également limitée par des phénomènes d'adsorption, mais nécessite d'être précisée, ainsi que l'état hydrique du produit en début d'exploitation. La pré-hydratation permet de limiter la dégradation des propriétés des matériaux argileux en contact avec les lixiviats.

La démarche mise en place fait suite à une recherche bibliographique sur les matériaux qualifiés de boues. Il en résulte que la teneur en eau, la nature et la taille des constituants (effet des constituants actifs et interactifs, effet de la force ionique, effet de la distribution granulométrique) jouent un rôle majeur. La présente étude vise à montrer le couplage entre les mesures de perméabilité et les mesures rhéologiques en vue de la caractérisation et l'examen des voies de valorisation des boues de Ziga.

2. Méthodes et matériel

2-1. Origine et propriétés physiques des boues d'étude

Outre les exigences sanitaires, l'axe de valorisation que nous explorons nécessite de caractériser la fraction fine des boues de Ziga à la fois en terme de stabilité colloïdale avec des essais rhéologiques et en terme de perméabilité avec des essais de filtration.

Les eaux naturelles ou brutes du barrage de Ziga subissent d'abord une décantation naturelle. Ensuite l'eau brute est envoyée vers la station de traitement par l'intermédiaire d'une station de pompage, située au pied du barrage de Ziga. Elle est enfin refoulée vers la station de traitement au moyen de pompes où l'eau brute passe par cinq étapes de traitement avant d'arriver à Ouagadougou ; aération en cascade (pour restaurer l'eau en oxygène dissout et permettre l'élimination du fer) – coagulation et floculation (former des floccs lourds pour leur permettre de sédimenter – éliminer la fraction colloïdale) – filtration (éliminer les particules en suspension) – désinfection par l'hypochlorite de sodium (désinfection de l'eau et destruction des microorganismes pathogènes).

Ce traitement conduit à l'obtention d'une eau de qualité conforme aux normes OMS et de boues stockées et entreposées sur le site, dont il est possible d'envisager des voies de valorisation.

Tableau 1 : Estimation de la quantité de boue

	Eau brute (m ³)	Eau traitée (m ³)	Boue liquide Siccité = 2%	Matière sèche (tonnes)
Valeur moyenne mensuelle	1 928 900	1 900 000	28 900	578

Les données chimiques ont été fournies par le laboratoire de l'ONEA et collectées en 2008.

Tableau n° 2 : Caractéristiques des eaux et matériels de mesure

Ions calcium	NF 90-160 –calcimétrie
Ions sodium et potassium	NF T90-019 Spectromètre d'absorption atomique (Perkin Elmer série 041N801013)
Ions sulfates	Spectrophotomètre DR 2500 (Hach 9V-1A, série 040400007634)
DBO	Mesures manométriques selon le code MOP-ACT-008
DCO	NF T90-101
Pt (phosphore total)	NF 90-023 Spectromètre UV-VIS Shimadzu UV-160A
Nt (azote total)	NF 90 -11à Appareils : TECATOR 2020 Digestor/TETACOR 1002/TIM 900
COT	NF T90-102
Al	Méthode 8012

Tableau 3 : Résultats physico-chimiques des boues

PARAMETRES	Boue ancienne	Boue jeune
Température (°C)	24,9	24,7
pH	4,50	3,87
Conductivité (µs/cm)	31,6	1,43
Matière sèche (g/L)	17,5	16,85
Siccité	2%	2%
COT (mg/L)	14	16
DBO5 (mg/ L O2)	18,79	9
DCO (mg/L O2)	24,87	12
Nt (mg/L)	5,10	5,30
Pt (mg/L)	0,45	0,42
Kt (mg/L)	25,2	6,22
NO3 (mg/l)	1,5	1,2
Na + (mg/L)	5,20	5,31
SO4 2- (mg/L)	135	14
Ca2+ (mg/L)	26,5	27,3
Mg2+ (mg/L)	8,27	7,78
Al2 (mg/L)	62	57
Fer (mg/L)	0,18	0,02
Chlorophylle (µg/L)	0,46	0,33

La prise d'échantillons a été faite au droit de deux bassins de stockage (l'un hors d'usage, l'autre en exploitation) avec des flacons et sacs étanches à l'eau et à la poussière. Quatre séries de cinq prélèvements de 2 litres ont été effectués à des points différents sur plusieurs hauteurs. Avant les analyses chimiques, les boues prélevées dans chaque bassin sont homogénéisées et un échantillon global de 2l, représentatif de chacun est nommé boue ancienne (datant de 2004) et boue jeune (datant de février 2008).

Les boues de la station de traitement de Ziga, constituées d'un mélange d'eau et de grains fins à grossiers (limon et sable) avec des argiles et de la matière organique, ont été séchées à température ambiante avant toute analyse, puis réhydratées à une siccité définie par le ratio de la masse de poudre sèche sur la masse d'eau et notée W en %.

La caractérisation granulométrique a été réalisée à l'aide d'un granulomètre laser Mastersizer 2000 Malvern. Afin de garantir une bonne désagrégation des agrégats de la poudre sèche, la préparation a été mélangée délicatement durant 7 jours. En complément des analyses chimiques, des tests au bleu de méthylène (norme NF P94-068) ont également été effectués afin de déterminer l'argilosité des boues.

Pour examiner le comportement rhéologique des fines, les poudres ont été tamisées par voie humide, la fraction infra 80 µm est conservée pour l'étude. Elle est mélangée à des matériaux argileux fins de type kaolinite et de type bentonite industrielle (SFBD).

Le pH des suspensions est contrôlé avec un pHmètre PHM 220 Radiometer. En effet les propriétés des matériaux fins et argileux sont sensibles aux variations du pH à cause d'attaque chimique de leurs structures et aussi à cause des mécanismes de coagulation et de floculation. Signalons que toutes les expériences ont été menées au Laboratoire Ondes et Milieux Complexes (LOMC) du Havre en France, hormis les analyses physico-chimiques qui furent réalisées au laboratoire central de l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA) du Burkina sis à Ouagadougou.

2-2. Caractérisation rhéologique

Il existe dans la pratique, des essais de chantier qui, certes, permettent de hiérarchiser les coulis (cône de Marsh, cône d'Abrams...) et les mélanges à l'aide de paramètres empiriques bien utiles pour les applications mais qui n'aident pas à retrouver les grandeurs rhéologiques caractéristiques de l'écoulement des fluides ou à faire le lien avec les caractéristiques physico-chimiques fondamentales du matériau et de ses constituants. Les tests empiriques, quoique très utiles parce que le matériel utilisé est simple, restent donc limités aux comparaisons des effets des produits sur l'écoulement des matériaux et ne peuvent pas constituer des essais explicatifs des liaisons interactives entre les particules. En revanche la rhéométrie permet de mener une étude plus fondamentale traitant de l'addition d'un sol sur les propriétés d'écoulement, voire de lubrification des coulis. Pour ces raisons, des études fondamentales sur la rhéologie des mélanges se justifient.

L'étude de la rhéologie des pâtes de ciment et des suspensions d'argile est bien documentée avec les travaux d'une part de *Tattersall et Banfill* [7] et d'autre part de *Van Olphen* [8], *Lagaly* [9], *Güven* [10]. Tout comme beaucoup d'autres expérimentateurs en rhéologie, ils indiquent l'influence des facteurs de composition et des facteurs opératoires et métrologiques.

La notion de seuil est remise en question, notamment sa définition et l'existence du seuil est souvent discutée [11]. A-t-il une réelle signification physique ou s'agit-il d'un artefact expérimental, lié à la sensibilité des appareils et qui tend à disparaître ? Néanmoins ce phénomène de transition solide-liquide constitue une réalité d'ingénierie, qu'il faut considérer. Le modèle de Bingham, largement employé, en est une preuve malgré ses limitations. La viscosité d'un fluide est souvent décrite par un paramètre, alors qu'elle est fortement dépendante des vitesses d'écoulement.

Très souvent, les boues minérales présentent un comportement complexe de fluide non newtonien à seuil, qui peut être caractérisé par un modèle de Bingham ou de Herschel-Bulkley. Les principales caractéristiques rhéologiques (seuil d'écoulement apparent, la viscosité et la thixotropie) ont été étudiées à l'aide du rhéomètre Physica MCR (Anton-Paar) sous vitesse de cisaillement imposée ($\dot{\gamma}$). La géométrie utilisée est du type cône-plan et ou du cylindres de Couette. Compte tenu des conditions climatiques locales (Burkina-Faso), les essais ont été réalisés à des températures variant entre 25°C et 45°C.

Les suspensions dosées à $W =$ ont été toutes précisaillées $\dot{\gamma} = 200 \text{ s}^{-1}$ pendant 30 s, puis maintenues au repos pendant 15 s afin de les mettre dans un état structural voisin.

Le protocole utilisé consiste en l'application d'un cycle de cisaillement montée-palier-descente (cisaillement croissant-cisaillement constant-cisaillement décroissant) avec $\dot{\gamma}$ variant de 0 à 200 s^{-1} suivie d'une diminution jusqu'à 0 s^{-1} .

2-3. Essais de filtration

Les essais de filtration ont été réalisés à l'aide d'un filtre presse API de 90 mm de diamètre et 90 mm de hauteur. La poudre fine (40 grammes) de boue de Ziga ou d'un mélange Boue de Ziga-Bentonite est mise en suspension dans 400 ml de fluide puis agitée 3 minutes à 11000 tr/min. La suspension est laissée au repos 24 h avant l'essai pour permettre l'hydratation et le gonflement de la phase argileuse et ainsi atteindre un état stable. La suspension (300 mL) est placée dans la cellule puis soumise à une pression constante (700 kPa) par application directe d'air pressurisé. Sous l'effet de la pression la quantité de filtrat en sortie de cellule est pesée en continu. L'essai dure environ 3 h et à la fin la cellule est démontée. On observe la formation d'un cake plus ou moins consistant au contact du filtre et une suspension surnageante. Leur poids ainsi que l'épaisseur du cake sont notés en sortie d'essai et après séchage à 110°C.

La perméabilité intrinsèque du cake K_c est déterminée à l'aide de la loi de Darcy. Cette méthode, décrite par de nombreux auteurs, suppose que la perméabilité et le volume spécifique du cake sont constants au cours de la filtration [12-15]. Le volume de filtrat augmente linéairement avec la racine carrée du temps, aussi pouvons-nous déterminer la pente caractéristique de la courbe de filtration et par conséquent la valeur de la perméabilité intrinsèque (K_c) en m^2 . Les perméabilités intrinsèques sont transformées en conductivité hydraulique (k_c) en m/s , avec l'hypothèse que la viscosité de l'eau à 1 mPa.s.

3. Résultats et discussion

L'analyse granulométrique met en évidence que la proportion de fines (diamètre inférieur à $6 \mu m$) varie entre 38 % et 45 %.

Tableau 4 : Composition granulométrique des boues de Ziga

Argiles + limon fin	Limon grossier	Sables
86,27 %	7,85 %	5,88 %

L'essai au bleu de méthylène nous donne un indice VBS de 3,23 et une surface spécifique (S_A) de $67,7 m^2/g$, indiquant suivant les règles usuelles de la géotechnique un matériau limoneux à plasticité moyenne, mais surtout présentant une surface spécifique intermédiaire entre un matériau argileux du type kaolin ($30 m^2/g$) et une smectite calcique naturelle ($200-300 m^2/g$). La faible valeur de S_A des boues de Ziga par indique que pour s'hydrater, ce matériau va absorber beaucoup moins d'eau que la bentonite naturelle étudiée par *Rosin-Paumier et al.* [16] pour laquelle S_A vaut $192 m^2/g$ [13].

Pour des gammes de température et de siccité allant respectivement, de $20^\circ C$ à $45^\circ C$ et de 2% à 30% nous avons trouvé que le pH varie entre 6 et 8,18. Le pH est d'autant plus élevé que la siccité est faible et que la température est élevée.

Toutes les courbes d'écoulements révèlent des propriétés mécaniques complexes telles seuils d'écoulement et fluidification.

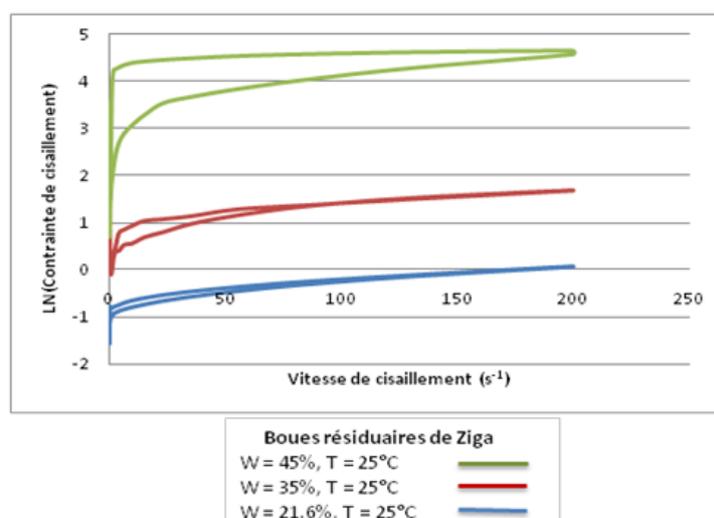


Figure 1a : Courbes d'écoulement pour les boues de Ziga

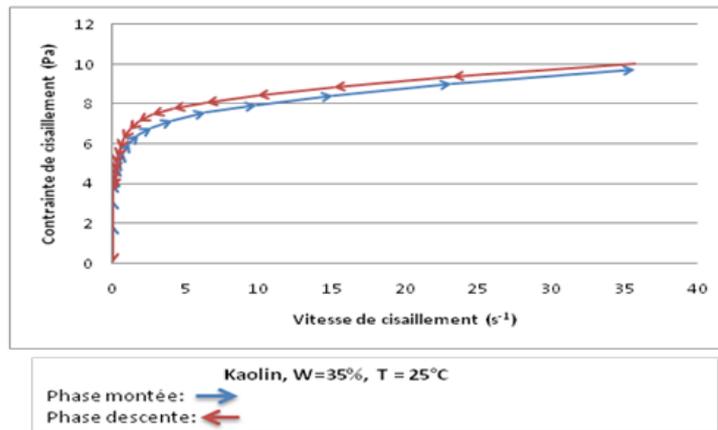


Figure 1.b : *Courbes d'écoulement pour le kaolin*

Les courbes d'écoulement de la figure 1a montrent que la boue de Ziga hydratée à différentes valeurs de siccité se comporte, à 25°C, comme un fluide plastique non newtonien à seuil [17] et sont comparées à la courbe d'écoulement d'une suspension de kaolin sur la **Figure 1b**. Compte tenu des courbes expérimentales obtenues (avec une bonne linéarité), la contrainte seuil (τ_y) sera définie en suivant le modèle de Bingham par l'intersection de la droite avec l'axe des ordonnées et constitue un seuil apparent. La dépendance de la contrainte de cisaillement seuil (ou contrainte critique) avec la siccité est représentée sur la **Figure 4**, à 25°C. Les expériences montrent que pour $W \leq 15\%$, la contrainte seuil est très petite (0,19 Pa) et que lorsque la siccité des boues de Ziga est inférieure à la valeur seuil égale à 6,25%, la boue se comporte comme un fluide newtonien aux valeurs de la vitesse de cisaillement comprises entre 0 et 36 s^{-1} . Pour $W > 15\%$, la contrainte seuil (τ_y) croît très rapidement. La courbe de tendance proposée pour déterminer la contrainte seuil en fonction de la siccité est indiquée pour W variant entre 0 et 45% sur la **Figure 2**.

La **Figure 3** montre pour $W = 21,6\%$, la variation de (τ_y) avec la température : la contrainte seuil croît très légèrement avec la température.

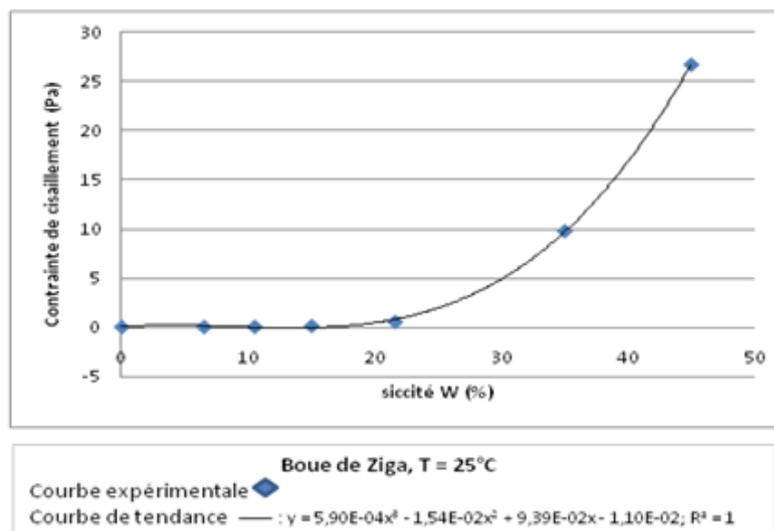


Figure 2 : *Contrainte seuil en fonction de la siccité*

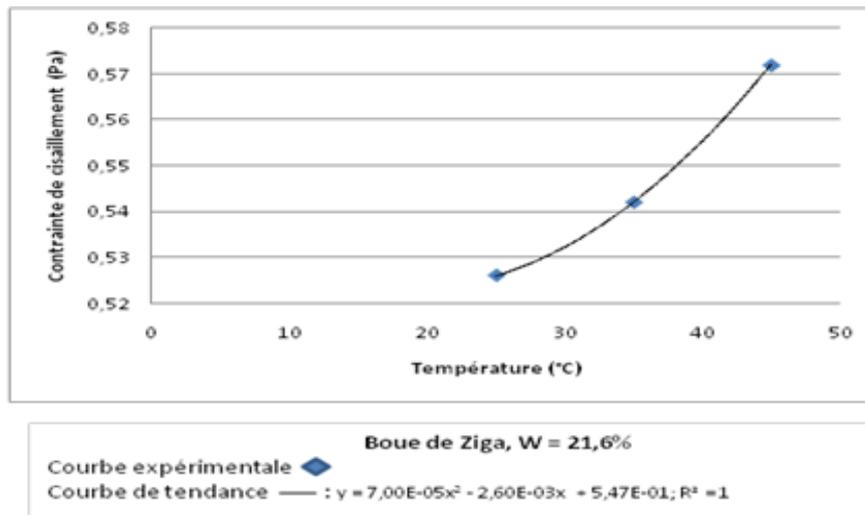


Figure 3 : *Contrainte seuil en fonction de la température*

Le caractère thixotrope est mis en évidence par l'existence d'une hystérèse entre la courbes de montée et celle de descente pour les suspensions concentrées, cette surface est dépendante des temps de restructuration des suspensions. Dans les mêmes conditions expérimentales, elle est d'autant plus prononcée que la siccité est grande. Les phénomènes de thixotropie trouvent une origine dans l'organisation structurale des milieux micro-particulaires et colloïdaux, où l'interaction entre les colloïdes est complexe compte tenu des forces en présence, qui suivant la théorie DLVO unanimement citée dans la littérature constituent un ensemble de forces attractives (forces de van der Waals) et répulsives (répulsion de Born, effet stérique ...).

Sur la figure 1a, pour $W = 45\%$, on peut constater qu'à vitesse de cisaillement fixée la contrainte de cisaillement est plus grande en phase descendante (décharge) qu'en phase montante (charge). Pour $W = 21,6\%$, on obtient le résultat inverse. En revanche dans le cas $W = 35\%$ pour des vitesses de cisaillement (γ) inférieures à 100 s^{-1} la contrainte en décharge est inférieure à la contrainte en charge, le résultat est inversé pour γ supérieure à 100 s^{-1} . Pour le mélange eau-kaolin (figure 2), la courbe contrainte-cisaillement en descente est légèrement au-dessus de celle obtenue en montée.

Sur les **Figures 4 et 5**, l'examen détaillé des courbes à très faible gradient de vitesse de cisaillement (inférieure à 10 s^{-1}), indique la présence d'un minimum de contrainte de cisaillement (τ_{\min}) pour des vitesses de cisaillement autour de $0,5$ à 1 s^{-1} , comme l'indiquait *Coussot* [17].

Les essais de filtration réalisés sur les suspensions dosées à 40 g de solide pour 400 g d'eau, soit une siccité de 10% nous permettent à partir des équations proposées par *S. Rosin-Paumier et al.* [18], de calculer les perméabilités des cakes, obtenus après filtration dans la cellule API. Il a été montré que des suspensions (constituées des mêmes constituants solides mais à différentes siccités) filtrées dans les mêmes conditions produisent des cakes de perméabilité voisine. C'est la nature minéralogique et la granulométrie des particules fines qui influence notablement la perméabilité (intrinsèque). Ainsi, une simple étude en fonction des constituants permet de définir la perméabilité des cakes et montre (1) que la perméabilité initiale des boues de Ziga est faible et (2) qu'un ajout raisonnable de bentonite permet de la réduire.

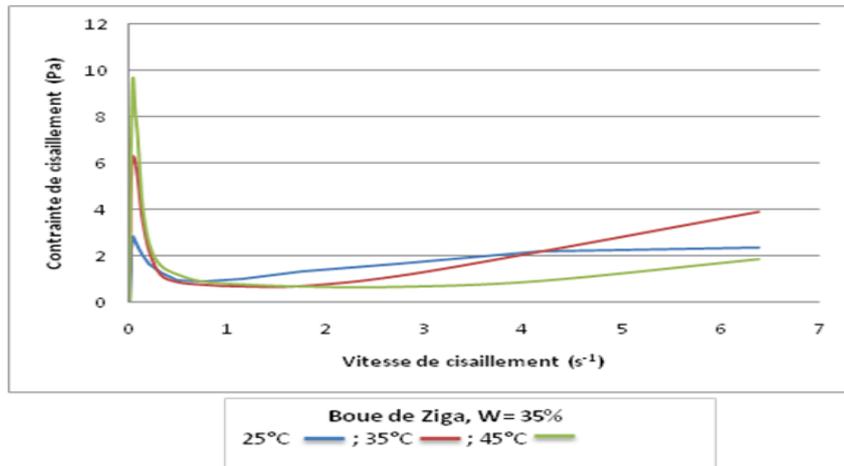


Figure 4 : *Contrainte minimale en fonction de la température*

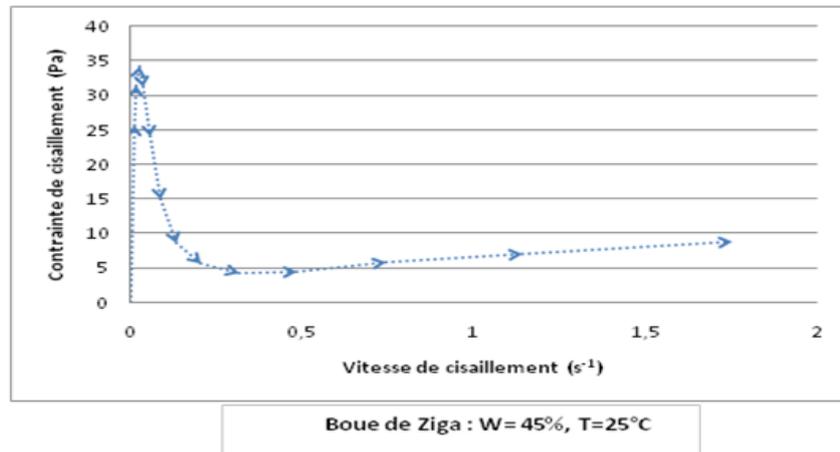


Figure 5 : *Contrainte minimale*

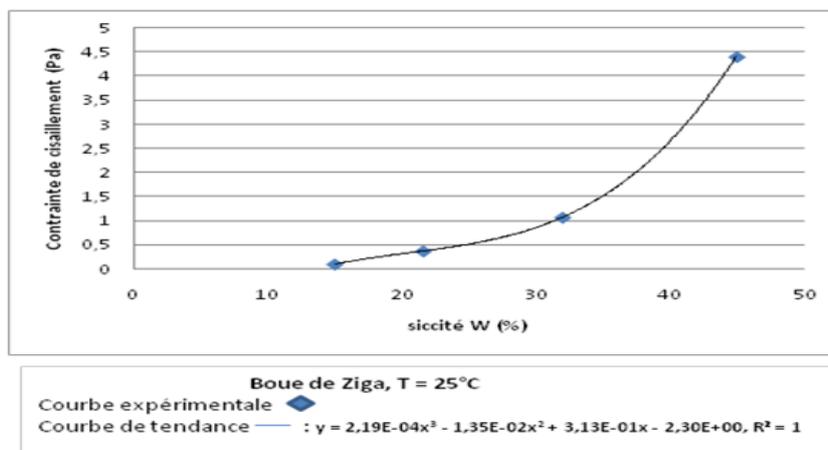


Figure 8 : *Contrainte minimale en fonction de la siccité*

Tableau n° 5 : Perméabilités et conductivités différents matériaux

	Boue Ziga	Mélange	Bentonite
Perméabilité intrinsèque (m²)	4.20E⁻¹⁴	2.99E⁻¹⁵	2.62E⁻¹⁶
Conductivité hydraulique(m/s)	4.12E⁻⁰⁷	2.94E⁻⁰⁸	2.57E⁻⁰⁹

Signalons que dans le tableau 5 la boue de Ziga et la bentonite sont réalisées en mélangeant 40 g de matière sèche à 400g d'eau, alors que le « mélange » est composé de : 400g d'eau ; 32,55g de boue de Ziga et 7,45g de bentonite.

4. Conclusion

Les résultats du présent travail indiquent que les boues de Ziga constituent un matériau qui peut être valorisé en utilisant la fraction fine (infra 80 µm). Leur comportement est voisin de celui d'une argile de type kaolinite, dont le comportement d'un point de vue rhéologique est d'autant plus complexe que la siccité s'éloigne de la valeur seuil de 6,25% et que la température est élevée. La stabilité des suspensions étant d'autant plus grande que la proportion de fines est importante, le préalable à toute mesure de perméabilité susceptible de qualifier notre matériau comme intrant pour la réalisation de géomembranes est l'extraction des fines soit par tamisage à l'eau soit par centrifugation.

L'étude montre une organisation des suspensions en fonction de la concentration conformément aux observations générales d'autres auteurs [17]).

Le seuil d'écoulement, notion complexe mise en évidence, peut répondre à plusieurs définitions suivant les modèles considérés. Ainsi l'on peut examiner la valeur de la contrainte de cisaillement à 1 s⁻¹, que l'on définira comme valeur du seuil d'écoulement. Suivant le type de matériau (boue de Ziga ou mélange boue de Ziga- bentonite), la valeur de seuil faible, prise pour une vitesse de cisaillement proche de 1, indique une bonne concordance pour les deux systèmes utilisés.

L'optimisation des traitements et de la valorisation des boues résiduaires de la station de Ziga sont une voie d'amélioration de la gestion des déchets. La production des boues résiduaires à Ziga fournit une ressource minérale qu'il est possible de valoriser. La substitution de l'outil rhéologique de laboratoire par des outils de terrain est envisageable par la création d'abaques. La cellule de filtration quant à elle est déjà un système simple qui permet d'obtenir rapidement une grandeur significative de la perméabilité des matériaux fins utilisés pour la réalisation d'écran d'étanchéité.

Il n'y a pas de corrélation entre les deux approches, mais elles sont complémentaires ; l'une traduit la capacité à l'écoulement d'un matériau fluide, l'autre la perméabilité du solide résultant du fait de la consolidation par filtration. La combinaison des deux approches permet d'affiner la définition de la transition liquide-pâteux d'une part et la caractérisation hydraulique rapide d'un matériau pâteux d'autre part.

Cette double approche complémentaire permet une avancée dans la connaissance de cette voie de valorisation des boues résiduaires de Ziga, ressource minérale considérée jusqu'à ce jour comme un déchet.

Références

- [1] - J. L. MEUSY, C. ELOY GIORNI, " *Un nouveau système de dépollution par confinement et drainage : l'utilisation de panneaux*", Géotextiles-géomembranes, rencontre 97, tome 2, Reims, 80-86 (1997).
- [2] - ADEME, " *Etude sur les sols pollués : Définition des taux d'utilisation des différentes filières et techniques de traitement en France en 2002*", Rapport final définitif Lyon-Ecully, Janvier 2005.
- [3] - K. LANGE, R.K. ROWE, H. JAMIESON, " *Metal retention in geosynthetic clay liners following permeation by different mining solutions*", Geosynthetics international, 14, (2007) p.178-187.
- [4] - K. VERBURG AND P. BAVEYE " *Hysteresis in the binary exchange of cations on 2:1 clay minerals : a critical review*". Clays and Clay Minerals, 42, (1994), 207-220.
- [5] - R. K. ROWE, T. MUKUNOKI & H.P. SANGAM " *BTEX diffusion and sorption for a geosynthetic clay liner at two temperatures*". ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 131(1), (2005), 1211-1221.
- [6] - S. ROSIN-PAUMIER, N. TOUZE-FOLTZ, A. PANTET, " *Impact of synthetic leachate on permittivity of GCLs measured by filter press and oedopermeameter tests*", Géotextiles and Géomembranes 29, (2011), 211-221.
- [7] - G. H. TATTERSALL & P. F. G. BANFILL, " *The rheology of fresh concrete*". Pitman. (1983).
- [8] - H. VAN OLPHEN, " *An Introduction to Clay Colloid Chemistry for Clay Technologists Geologists and Soil Scientists*", second ed. Wiley, New York, (1977), 318 pp.
- [9] - G. LAGALY , " *Principles of flow of kaolin and bentonite dispersions*", Applied Clay Science, 4 (1989).
- [10] - N. GÜVEN AND R.M. POLLASTRO, " *Clay-water interface and its rheological implications*". CMS Workshop lectures, Vol. 4, Clay Mineral Society. Boulder, CO., (1992) 243 pp.
- [11] - H. A. BARNES, " *The yield stress—a review or—everything flows*", Journal of Non—Newtonian Fluids Mechanics, Volume 81 (1-2) (1999), pp 133-178
- [12] - J. D. SHERWOOD, " *Initial and final stages of compressible filtercake compaction*". AIChE Journal 43, (1997), 1488—1493.
- [13] - Y. LI, J. F. ARGILLIER, E. ROSENBERG AND J. DURRIEU , " *Static and dynamic filtration properties of aqueous suspensions of clays and electrolytes*". Revue de l'Institut Français du Pétrole, (1997) 52, 207-218.
- [14] - M. BENNA, N. KBIR-ARIGUIB, C. CLINARD & F. BERGAYA, " *Static filtration of purified sodium bentonite clay suspensions. Effect of clay content*". Applied Clay Science, (2001), 19, 103-120.
- [15] - A. PANTET, P. MONNET " *Liquid—solid transition of kaolinite suspensions*". Mechanics of Materials, (2007), vol. 39, pp. 819-83.
- [16] - S. ROSIN-PAUMIER, A. PANTET, P. MONNET, " *Organisation et rhéologie des suspensions de smectites*". Editions Universitaire européennes, Berlin 2010.
- [17] - P. COUSSOT, " *Mudflow rheology and dynamics*", A.A. Balkema editor, IAHR Monograph, Rotterdam. (1997), 272 pages.
- [18] - S. ROSIN-PAUMIER, N. TOUZE-FOLTZ, A. PANTET, " *Impact of synthetic leachate on permittivity of GCLs measured by filter press and oedopermeameter tests*", Géotextiles and Géomembranes 29, (2011), 211-221.