

Valorisation du grès bitumineux de Bemolanga et caractérisation des produits.

Tahiry Rouel Malala*(1), Nambinina Richard Randriana(1), Haritiana Jeannelle Rakotoniriana (1), Jean de Dieu Ramaroson (2), Frédéric Randrianarivelo(1), Tiana Richard Randriamalala(3), Lala Andrianaivo (1).

(1) Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique, BP 1500 Antananarivo 101 Madagascar

(2) Centre National de Recherches Industrielle et Technologique, Département Matériaux et Génie Civil, BP 6294, Antananarivo 101 Madagascar.

(3) Laboratoire National des Travaux Publics et des Bâtiments, Département Recherche et Matériaux, B.P. 1151, Antananarivo 101 Madagascar.

*auteur correspondant, email : malalatahiry@yahoo.fr

Résumé

Madagascar est riche en ressources naturelles et le gisement de grès bitumineux de Bemolanga en fait partie. Cette étude est focalisée sur l'étude comparative des extractions aux solvants de grès bitumineux et la détermination des caractéristiques des produits : huiles et sables. L'extraction solide-liquide à l'aide de Soxhlet a été pratiquée. Les solvants utilisés sont : le Chloroforme et le TétraChloroEthylène (TCE). Concernant le choix de solvant, Le chloroforme offre le meilleur rendement d'extraction de 98,42% dont 90,32% de sable et 8,10% d'huile ; comparé au TCE de rendement 97,17%, dont 89,42% de sable et 7,77% d'huile. De plus, les résidus obtenus ne comportent pas beaucoup d'impureté. L'huile extraite est classifiée d'huile lourde avec une densité se situant entre 16° et 21° API. Les fractions de gasoil obtenues sont de plus de 50% en moyenne avec des fractions d'essence et de kérosène négligeables. Cette méthode d'extraction par Soxhlet est identifiée comme étant une méthode idéale pour l'extraction d'huile du grès bitumineux de Bemolanga à l'échelle laboratoire. La raison en est son exploitation continue et cyclique du Soxhlet réduit au minimum les impacts environnementaux. Néanmoins, cette exploitation n'est possible que si on trouve un moyen ou un solvant capable d'extraire le bitume du grès optimisant le rendement d'huile tout en préservant l'environnement et les propriétés de l'huile. La pratique de cette méthode à l'échelle industrielle serait difficile due aux coûts des produits. De ce fait, cette méthode est bénéfique car son impact environnemental est très atténué. Toutefois, dans un futur proche, cette exploitation pourrait être considérée comme un futur pilier de l'économie de Madagascar avec une gestion rationnelle des ressources. Les principaux challenges résident donc sur l'application industrielle de ce procédé et l'optimisation de la rentabilité de l'exploitation. La réussite de l'exploitation du grès bitumineux de Bemolanga est ainsi conditionnée de la mise en place de nouvelles technologies d'exploitation de coût d'exploitation raisonnable et préservant l'environnement ou technologies propres.

Mots clés : Grès bitumineux, Bemolanga, distillation, extraction solide-liquide, extraction par solvant, Soxhlet, TCE (TetraChloroEthylene), huile lourde, carburant.

Abstract

This study seeks to determine the best alternative in order to extract oil from Bemolanga tar sands. All experiences were practiced in laboratory scale. Solid-liquid extraction method using Soxhlet were performed in order to optimize the extraction of asphalt content in Bemolanga sands and reduce environmental impact. Two solvents were used: Chloroform and TetraChloroEthylene (TCE). Regarding the choice of solvent, chloroform offers the best of 98.42% extraction efficiency of which 90.32% sand and 8.10% oil; compared to the 97.17% yield of TCE, including 89.42% of sand and 7.77% oil. Residue obtained from the operation is free of impurity and the operation itself has minimum side effect in the environment. Environmental impact were reduced due to the fact that oil were kept in the Soxhlet, nobody and nothing is in contact with the system. The extracted oil is classified as heavy oil with a density between 16° API and 21° API. The obtained fraction of diesel reached more than 50% on average with minimum fraction of petrol and kerosene. On laboratory scale, this Soxhlet extraction method is identified as an ideal method for extracting oil from Bemolanga sandstone. The practice of this method on an industrial scale would be difficult due to high cost of products and equipment. Nevertheless, this operation could be considered as a future pillar of Madagascar's economy with good management of resources. This operation is possible only if we find a way to optimize the extraction of bitumen from Bemolanga sandstone while keeping its main properties without destroying the environment. Indeed, the use of Soxhlet is environmentally friendly but the use of solvent such as TCE and chloroform represents a considerable risk to the environment. Therefore, an implementation of new mining

technology combined with a reasonable cost of operation and an environmentally friendly system is the key success for a profitable Bemolanga tar sands exploitation.

Keywords: Bituminous sandstone, Bemolanga, distillation, solid-liquid extraction, solvent extraction, Soxhlet, Tetrachoroethylene TCE, heavy oil, fuel.

1. INTRODUCTION

Madagascar possède des ressources inexploitées comme le grès bitumineux de Bemolanga. Le gisement de grès bitumineux de Bemolanga fait partie des patrimoines nationaux qui ont suscité depuis près d'un siècle la curiosité des explorateurs de pétrole. Déjà en 1923, quelques explorateurs, dirigé par Decary, ont cherché un moyen d'exploiter ces grès bitumineux, dans le lit de Mitsiotaka, dans la région de Morafenobe et ont déjà fait des études d'exploitations (Debysery, 1989 ; Hardel, J., 1994). Récemment, la compagnie Total E&P a pris le relai et a effectué les études nécessaires en vue de déterminer les enjeux nécessaires à l'exploitation de ce grès bitumineux de Bemolanga (Total E&P Madagascar, 2010).

Le taux d'indépendance énergétique de Madagascar est encore très bas, ainsi l'exploitation de ce gisement peut contribuer à la diminution des importations de carburant, voire même à l'indépendance énergétique ou à l'exportation du pétrole, ainsi que le développement économique du pays. Le challenge pour le gisement de grès bitumineux est de trouver des technologies propres pour l'exploitation de ces ressources. Le mot d'ordre est de concilier le profit de la rentabilité de la production et la préservation de l'environnement.

L'extraction solide-liquide est l'opération fondamentale qui a pour but d'extraire, de séparer, de dissoudre soit par immersion soit par percolation d'un liquide, un ou plusieurs composants (liquide ou solide) mélangés à un solide. C'est une opération de transfert ou d'échange de matière entre une phase solide, qui contient la matière à extraire et une phase liquide, le solvant d'extraction. Il existe une grande variété de technologies d'extraction. Ceci est le résultat de la grande variabilité des structures des matières à extraire ainsi que les caractéristiques des éléments à extraire (Drews, 1992).

L'extraction au solvant apporte plusieurs avantages de tel sorte que la solution du ballon s'enrichit petit à petit en soluté et le solide est toujours mis en contact avec du solvant fraîchement distillé. En effet, non seulement la solution dans le ballon s'enrichit en huile progressivement mais en plus l'opération automatique et continue augmente le gain de temps et le rendement (Aguilera, J. M., 2003 ; Cannell, R. J. P., 1998).

Dans cette optique, cette étude est focalisée sur l'extraction de l'huile du grès bitumineux de Bemolanga à l'aide de solvant ; plus précisément, comment obtenir un rendement maximum en huile exempte d'impureté après extraction et du sable claire en résidu qui pourra être transformé après extraction. De ce fait, la présente étude se propose les objectifs suivants :

- Comparer les méthodes d'extraction aux solvants pour extraire l'huile lourde du grès bitumineux de Bemolanga,
- Déterminer les caractéristiques des produits : l'huile et le sable résidu d'extraction.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Description de la matière première

Le grès bitumineux de Bemolanga (Figure 1) est une roche provenant des gisements de grès bitumineux localise dans le bassin de Morondava. Le gisement de Grès Bitumineux de Bemolanga s'étend entre les latitudes 17°37' et 17°52' Sud et part et d'autre de la longitude 45° à 45°16' Est (Besairie, H., 1966.). Le grès bitumineux de Bemolanga est une roche de couleur noire, dès fois un peu grisâtre. Cette roche est friable et très collante due à la présence de bitume. Cependant, dans certain cas, le grès bitumineux de Bemolanga est très dur. Ce dernier est un indicateur de la faible teneur en bitume contenu dans la roche.



Figure 2: Echantillons de grès bitumineux de Bemolanga de l'OMNIS (Office des Mines Nationales et des Industries Stratégiques)

2.2. Méthodes d'extraction

Dans cette étude, le procédé d'extraction humide à l'aide de Soxhlet a été adopté afin d'avoir le rendement maximal en huile. L'extraction solide-liquide permet d'extraire les composants solubles de matières solides à l'aide de solvant. L'extraction solide-liquide à l'aide de Soxhlet- Dean Stark est un procédé discontinu, couplant une distillation avec une cartouche de type « Soxhlet » contenant le minerai imprégné du principe actif qui est l'huile (soluté) à extraire par dissolution dans un solvant chaud. L'opération discontinu consiste à mettre en présence une quantité de grès broyé et de solvant, puis à séparer, après un temps de contact déterminé, les solides inertes de la solution. Le transfert de matière va se réaliser entre deux phases hétérogènes au sein d'un contacteur. En d'autre terme, l'extraction est fermée en lit fixe par percolation (Leybros Jean, F. P., 2002).

Le minerai de grès bitumineux est lavé afin d'en extraire l'huile et obtenir le résidu de sable. A partir du minerai de grès bitumineux broyé, le soluté (l'huile) est extrait par solubilisation avec du solvant (Chloroforme, TCE). (Figure 1) La colonne de distillation produit des vapeurs de solvant qui sont condensées ; ce solvant pur et chaud alimente la cartouche contenant le solide inerte et le soluté. Lorsque la cartouche est pleine, la solution obtenue (solvant et soluté) se vide automatiquement par siphonage puis retourne dans le bouilleur où le solvant est de nouveau porté à l'ébullition. La température d'extraction est régentée par le Dean-Stark. Après l'extraction, la phase stationnaire qui est le résidu de grès broyé reste dans la cartouche cellulosique et l'huile lourde est totalement dissoute dans le solvant. Le système d'extraction a été élaboré dans le laboratoire de géochimie et d'analyse physico-chimique de l'OMNIS.



Figure 3 : Dispositif d'extraction d'huile lourde de l'OMNIS

2.3. Méthode de détermination des caractéristiques de l'huile obtenue.

Les principales caractéristiques de l'huile obtenue après extraction sont déterminées conformes aux protocoles suivants :

2.2.1. La densité API (American Petroleum Institute)

D'abords, la densité spécifique de l'huile est mesurée à l'aide de pycnomètre (ASTM, API Gravity, 1999)

La densité API est une échelle permettant d'exprimer la densité du pétrole brut, en degrés API (° API), calculée à partir de la densité, par la formule suivante (ASTM Test method for API density, 1999)

$$densite\ API = \frac{141,5}{densite\ à\ 60°F} - 131,5$$

2.3.2. La viscosité

La viscosité est la résistance qu'opposent les molécules d'un liquide à une force tendant à le déplacer par glissement dans son sein. Elle permet d'apprécier la qualité de pompabilité des liquides et de définir le type d'écoulement dans les canalisations. Elle est déterminée à l'aide de viscosimètre canon Fenske, récipient dont le fond comporte un orifice de taille standardisée. La vitesse à laquelle le fluide s'écoule par cet orifice permet de déterminer la viscosité du fluide. La détermination de la viscosité est effectuée par mesure du temps 't' d'écoulement du produit entre deux traits repérés d'un tube capillaire calibré (ASTM kinetic viscosity, 2002).

Les spécifications de viscosité concernant ces échantillons d'huile lourde ont pour but d'assurer à l'utilisateur une certaine qualité de fluidité de ces produits en vue de leur mise en œuvre. Les fluides très visqueux requièrent une pression de pompage plus importante. Un changement de viscosité de ±25% signifie une dégradation de l'huile ou une contamination par une substance volatile (Le Page, J. F. & Chatila, 1990).

2.3.3. Le point d'inflammabilité

Le point d'inflammabilité est la température minimale à laquelle un produit pétrolier, soumis à une petite flamme présente à sa surface dans des conditions définies, s'allume et continue à brûler pendant un temps déterminé (ASTM D 96, 2002).

L'échantillon à analyser, contenu dans le vase ouvert, est chauffé à l'abri du courant d'air, progressivement et sans interruption, d'une manière telle que sa température s'élève de 5°C à 6°C par minute.

2.3.4. Point d'éclair

Le point d'éclair d'un liquide est la température minimale à laquelle il faut le porter pour que les vapeurs émises s'allument spontanément en présence d'une flamme dans des conditions normalisées (ASTM D 96, 2002 ; ASTM D4052-11., 1999).

2.3.5. Résidu Conradson

Le résidu Conradson est le résidu résultant du traitement thermique d'un produit de pétrole dans des conditions normalisées. La détermination est essentiellement effectuée sur le produit lourd.

Le résidu Conradson nous renseigne sur la tendance d'un produit de pétrole à former de la coke lors d'un traitement (AFNOR, 1989).

2.3.6. Distillation ASTM (American Society for Testing Materials)

La distillation est un procédé de séparation d'un mélange binaire ou complexe, suivant la température d'ébullition de chaque composant du mélange.

Dans le résultat, on s'attend à ce que les différentes fractions d'huile légère et lourde soit distinctes (ASTM 1989 ; ASTM 1991).

2.4. Méthode de détermination des caractéristiques du sable résidu d'extraction.

Le sable résidu d'extraction a été traité avant d'être analysé afin de déterminer ses caractéristiques. Les différentes analyses ci-après ont été effectuées.

2.4.1. Analyses granulométrique

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains. Nous appelons refus la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis. Le tamisât ou passant est la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

La classification granulométrique consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique (Chauvel, A. & Leprince, P., 1974).

2.4.2. Analyse chimique

L'analyse chimique a pour but de doser les différents éléments majeurs dans le minerai tel que : SiO₂, TiO₂, Fe₂O₃, CaO, MgO (OMNIS, 2005).

3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

3.1. Résultat des extractions

Chaque expérience a été répétée au moins trois fois avec le même mode opératoire, et les valeurs affichées sont données dans le tableau 1.

Tableau 1. Résultats de l'extraction de l'huile à l'aide de solvants: TCE, Chloroforme

n° échantillon	Extraction avec le TCE			Extraction avec le chloroforme		
	1	2	3	1	2	3
Durée (mn)	495	705	360	240	305	250
Température de travail (°C)	100			60		
Teneur en sable (%)	87,36	90,61	90,29	90,13	89,78	91,06
Teneur en huile (%)	8,31	7,56	7,43	8,52	7,83	7,96
Teneur moyenne en sable (%)	89,42			90,32		
Teneur moyenne en huile (%)	7,77			8,10		
Rendement de l'extraction (%)	97,17			98,42		

Les résultats de l'extraction montre que : le chloroforme offre un rendement de 98,42% comparé au TCE qui n'est que de 97,17%.

Le Chloroforme et le TCE sont des solvants halogénés. Ils sont tous deux adéquats pour l'extraction de l'huile du grès bitumineux de Bemolanga.

Le rendement de l'extraction avec le Chloroforme est plus élevé que le rendement d'extraction du TCE. Cela est dû aux faits que le Chloroforme dissout le grès plus vite que le TCE. En effet, le chloroforme est un solvant apolaire dont la température d'ébullition est de 61°C et la masse volumique est de 1,48 g/cm³. Par contre, le TCE est un solvant polaire dont la température d'ébullition est de 121°C et la masse volumique est de 1,6g/cm³ (Canada, C. M. D.-. e, 2013 ; Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), 2004; Environmental Impact Agency, 2012)

De ce fait, le TCE prend plus de temps pour extraire l'huile du grès comparé au Chloroforme. Le Chloroforme est alors un bon solvant plus efficace que le TCE.

3.2. Caractéristiques des huiles extraites

Les huiles sont classifiées selon leur densités spécifiques, densités API (American Petroleum Institute) et viscosité.

A partir des résultats obtenus du test de densité, l'huile **H₁** (Huile extraite au solvant Chloroforme) est plus dense que l'huile **H₂** (Huile extraite au solvant TCE) (Tableau 2).

Tableau 2. Caractéristiques des huiles obtenues après extraction

Echantillon		H₁	H₂
Densité		0,95	0,92
Densité (°API)		16,75	21,75
Viscosité à 50°C		78,06	7,27
Distillation ASTM	PI (°C)	164	106
	PF (°C)	314	314
	Résidus	18,70	6,60
	Pertes	4,30	3,40
Point d'éclair		163	58
Point d'inflammabilité		168	66
Résidus Conradson		1,65	1,56

PI: Point Initial

PF: Point Final

Suivant les valeurs des densités des huiles **H₁** et **H₂**, supérieures à 0,87, l'huile extraite du grès bitumineux de Bemolanga peut être classifiée comme huile lourde.

Par définition du degré API, plus un produit pétrolier est dense, moins sa densité exprimée en degré API est élevée (SPM, 1962). La densité API des deux huiles **H₁** et **H₂** sont inférieure à 22,3. Ce qui implique que Les huiles **H₁** et **H₂** sont des pétroles lourds. De ce fait, la faible densité API de **H₁** montre bien que **H₁** est plus dense que **H₂**. De plus, **H₁** est nettement visqueuse que l'huile **H₂**. De par les résultats obtenus par distillation, les courbes suivant sont obtenus (Figures 1, 2) :

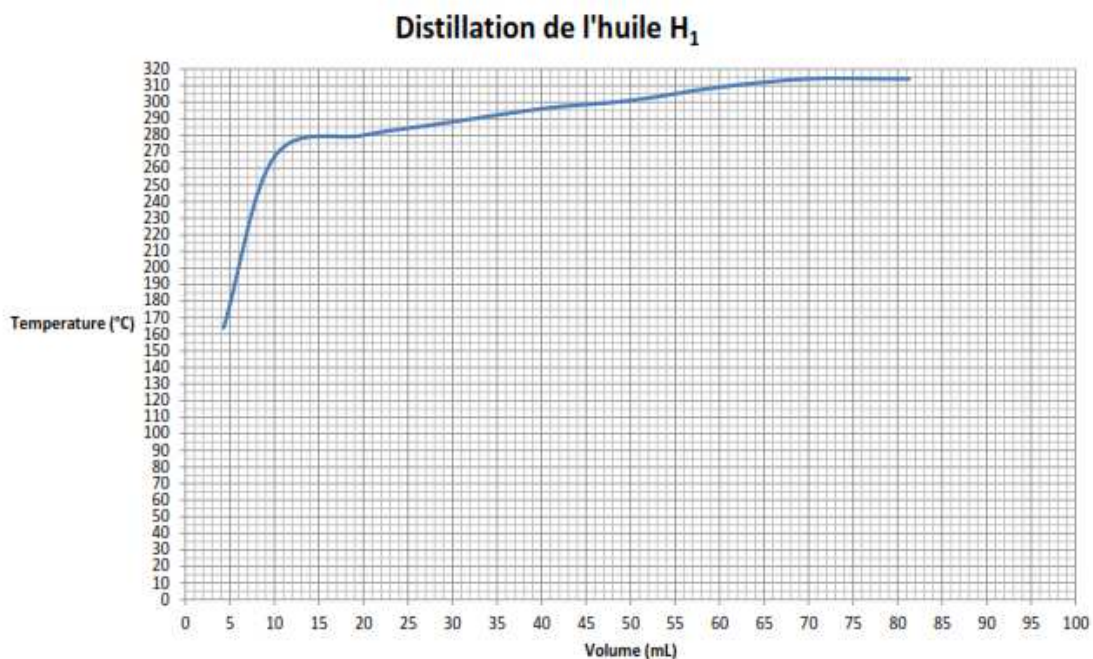


Figure 1. Courbe de distillation de l'huile H₁

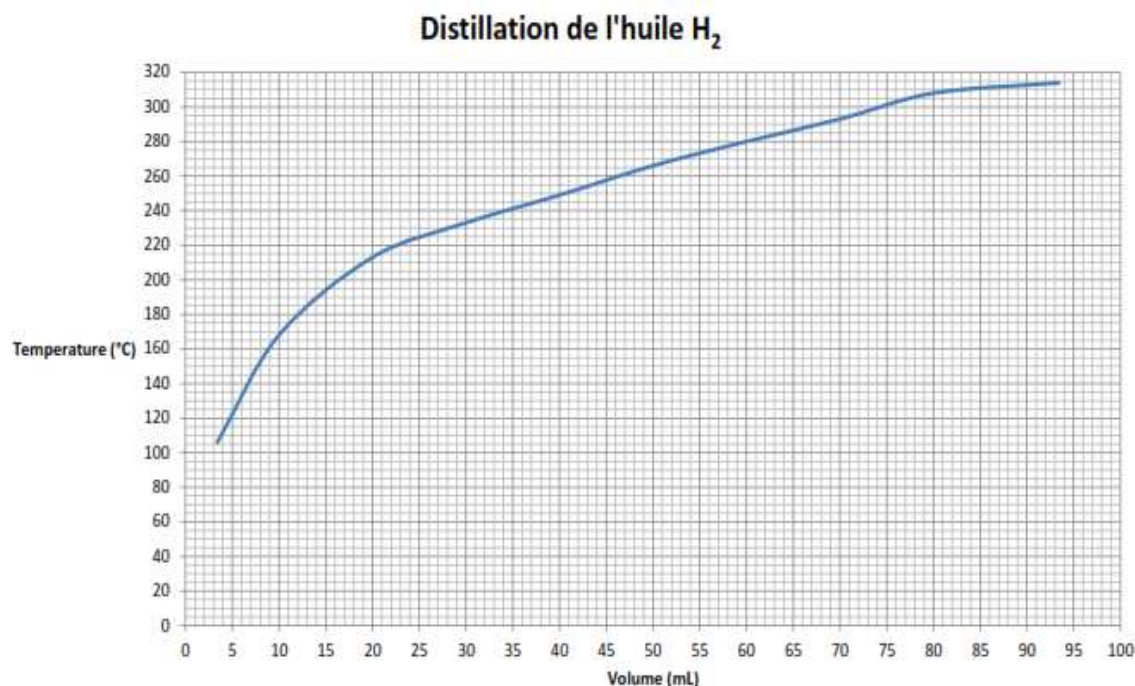


Figure 2. Courbe de distillation de l'huile H₂

La répartition des coupes pétrolières est évaluée à partir des courbes de distillation par le biais de différentes températures d'ébullition, sous pression atmosphérique, des différentes coupes commerciales du pétrole brut (Perret, J. & Wuithier, P., 1958). Les pertes (Tableau 3) correspondent aux fractions les plus légères qui sont distillées au début de chauffage et ne se sont pas condensées dans le tube. Les résidus représentent les parties non distillées sous la pression atmosphérique, qui par distillation sous vide donneront des distillats légers, moyens et lourds. Ces derniers sont à l'origine des huiles motrices, bitumes (goudrons).

Tableau 4. Coupe pétrolière résultant de la distillation ASTM (Source : OMNIS)

Echantillon	Perte (%)	Essence (%)	Kérosène (%)	Gasoil (%)	Résidu (%)
H ₁	4,3	0,0	3,7	73,3	18,7
H ₂	3,4	8,6	27,0	54,4	6,6

Après la distillation des huiles H₁ et H₂, les huiles extraites du grès bitumineux de Bemolanga ont une très faible perte, ce qui équivaut aux fractions très légères qui ont été distillées au début, mais aussi un taux très faible d'essence.

En ce qui concerne le taux de kérosène, celui-ci dépend de la densité de l'huile : avec une huile de faible densité (0,92), une fraction conséquente (27,0%) de kérosène peut être obtenue, ce qui est le cas de H₂. Par contre si la densité de l'huile est élevée (0,95), alors la fraction de kérosène obtenue est faible (3,7%), ce qui est le cas de H₁. Le taux de résidu de H₁ (18,7%) est plus élevé que le taux de résidu de H₂ (6,6%). Là encore, la densité et la viscosité interviennent. Vu que H₁ est plus dense, son taux de résidu est nettement supérieur à H₂.

Ces propriétés physico-chimiques présentent généralement une corrélation étroite, autrement dit, une densité élevée correspondra à une grande valeur de la viscosité, à une forte teneur en résidu de distillation sous pression atmosphérique et à des points d'éclair et point d'inflammabilité élevés.

3.3. Caractéristiques du sable résidu

L'analyse granulométrique montre les résultats suivants (Figure 3):

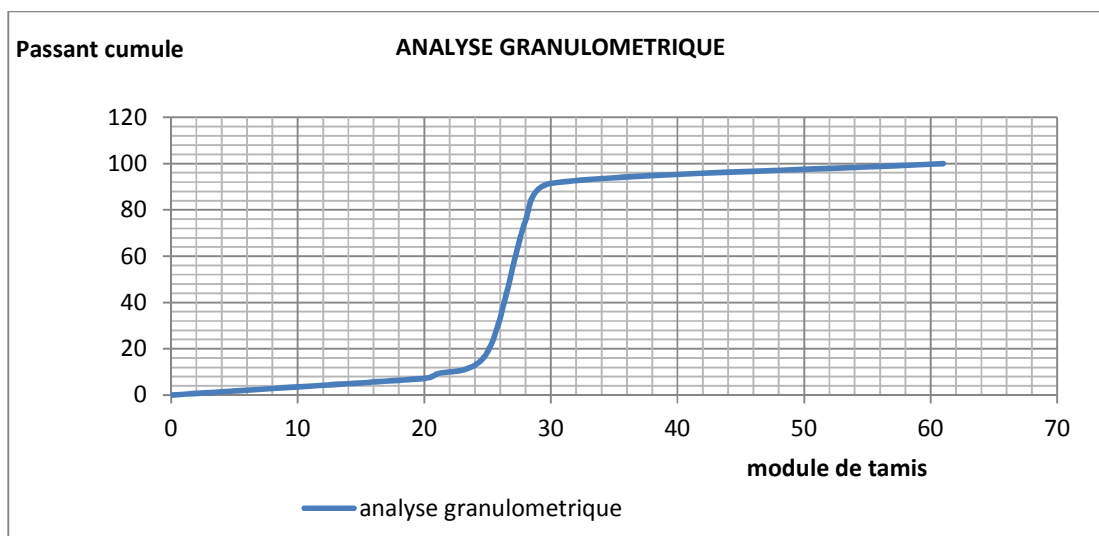


Figure 3. Analyse granulométrique du sable résidu d'extraction

82,34% de nos échantillons ont une granulométrie entre [0,100 ; 0,500] mm ; cette granulométrie peut être utilisée dans la fabrication des matériaux, surtout les verres.

Tandis que 9,13% du sable utilisé ont une granulométrie inférieure à 0.100 mm et 8,53% possède une granulométrie supérieure à 0.500mm. Pour le sable ayant une granulométrie inférieure à 0,100 mm : celles comprises entre [0,080 ; 0,100 mm] peuvent encore être utilisés pour la fabrication des céramiques, les verres ; mais en dessous de ce calibre, c'est-à-dire 0,080 mm, il se peut qu'il y a formation d'imperfections des bulles de gaz dans le verre. Cet échantillon de sable pourrait être utilisé dans d'autres domaines, notamment en céramique, car seules les fines sont utilisées. (Figure 3).

Ainsi, la totalité de l'échantillon de sable pourra être utilisée soit en verre soit en dégraissant céramique.

4. ANALYSES ET DISCUSSION

Le raffinage du pétrole désigne l'ensemble des traitements et transformations visant à produire le maximum de produits à hautes valeurs commerciales à partir du pétrole brut, telles que les carburants de base (essences, kérosènes, gazoles et fuels), les intermédiaires pour la pétrochimie et les plastiques (UFIP, 2010.).

La distillation est la première étape du raffinage. Elle permet de fractionner le pétrole brut afin d'obtenir différentes coupes pétrolières en fonction de la température d'ébullition. Les coupes lourdes sont composées de molécules de grandes tailles, très polaires, riches en hétéro éléments et en métaux. La distillation atmosphérique permet de séparer les coupes gaz (< 35°C), essence (35-175°C), kérosène (175- 235°C) et gazole (235-350°C) (Laxalde, J., 2012 ; Perret, J. & Wuithier, P., 1958).

Les rythmes effrénés du développement font que la demande en carburant ne cesse d'augmenter. De ce fait, les compagnies pétrolières se lancent dans la course à l'exploitation des pétroles non conventionnels. Non seulement l'exploitation des sables, schistes et grès bitumineux sont coûteux, mais aussi leurs exploitations ont des impacts très néfastes pour l'environnement. Ainsi, l'industrie pétrolière doit faire face à la production de pétrole brut dont la fraction lourde est de plus en plus importante. Dans le cas du grès bitumineux de Bemolanga, le défi consiste à trouver un moyen d'extraire l'huile et limiter les impacts environnementaux.

A ces critères, l'extraction solide-liquide à l'aide de Soxhlet convient mieux pour extraire le grès bitumineux de Bemolanga. En effet, les résultats de l'extraction donne un rendement jusqu'à 98% avec le Chloroforme. L'huile obtenue du grès bitumineux de Bemolanga a une densité de 21°API. De plus, l'impact environnemental serait limité car l'extraction se fera dans un endroit bien isolé.

Par contre, dans l'opération d'extraction, le choix de solvant est très important afin d'optimiser les résultats. Le choix du solvant se fait selon plusieurs critères:

- La solubilité des composants spécifiques dans le solvant,
- La régénération du solvant si celui-ci doit être réemployé. Il ne doit pas former d'azéotrope avec un des composés qu'il solubilise et sa chaleur latente doit être faible,
- La tension interfaciale et la viscosité, car le solvant doit correctement mouiller la matrice solide,
- Idéalement il doit être non toxique, stable, non réactif, non inflammable, inoffensif pour l'environnement et peu coûteux (Laxalde, J., 2012).
- La disponibilité du produit en laboratoire.

En règle générale, les solvants sont toxiques pour l'environnement. Le TCE est utilisé comme dégraissant. Son utilisation a des effets secondaires sur la santé et aussi l'environnement. Le TCE est identifié comme dangereux pour l'environnement (Environmental Impact Agency EPA, 2012). Par contre, le chloroforme est un composé organique volatil (COV) qui peut être nocif si son taux excède les 20 mg.m⁻³. Le seuil de rejets du Chloroforme dans l'eau par la déclaration du site web permettant la saisie des émissions polluantes par les exploitants (GEREP) est de 10 kg/an ou 20g/jour. C'est un indice de qualité des eaux potables. De ce fait sa nocivité est moindre que le TCE. Néanmoins, l'utilisation de ces deux solvants présente des risques. La solution est donc de trouver un mélange de solvant dont les impacts environnementaux sont les plus atténués que possibles.

Les différents procédés d'extraction du bitume du grès bitumineux de Bemolanga se répartissent en deux catégories bien distinctes :

- Le procédé sec ou thermique
- Le procédé humide.

Le procédé sec a pour technologie de base le traitement par pyrolyse non oxydant qui consiste à distiller l'huile des grès bitumineux dans un mixer pour produire des vapeurs d'huile et de gaz. Le trait essentiel du procédé consiste en un transfert de la chaleur réalisée par la circulation continue par voie pneumatique des grains de sables chauffés et fournis à l'intérieur même du système. Le caloporteur est le sable.

L'avantage de ce procédé est d'obtenir un taux de récupération d'environ 80%. Le cracking partiel entraîne la formation de fractions légères et diminue la viscosité de 10 à 22°API. Le système est simple, rapide et le produit obtenu est plus ou moins déjà valorisé. De plus, l'impact environnemental est minimum. L'inconvénient de cette technique est l'abrasivité du sable en caloporteur.

La technique de pyrolyse a été appliquée et améliorée au laboratoire. Plusieurs essais concluants ont été effectués. Les résultats montrent un rendement d'extraction de 75% avec une teneur en huile de 9% dont la densité est de 23°API. L'inconvénient de cette méthode est la complexité des appareillages et sa vitesse est lente. En effet, le procédé est très énergétivore. Le four doit fonctionner au moins 6h sans coupure pour un tour d'extraction (TOTAL E&P Madagascar, 2010).

Le procédé humide se divise en deux : le premier est le procédé de lavage à l'eau chaude et le second est le procédé d'extraction à l'aide de solvant.

L'opération de lavage à l'eau chaude, appliquée par SPM (Société des Pétroles de Madagascar) et inspirée de la méthode appliquée aux schistes bitumineux d'Athabasca Canada, consiste à malaxer le grès bitumineux avec de l'eau chaude. La séparation du bitume et sable se fait par flottation. Le bitume est récupéré sous forme d'écume. L'écume est ensuite diluée dans le naphta ; la phase hétérogène passe à la centrifugeuse pour éliminer les sables résiduels et d'autres minéraux. Les avantages de ce système sont que :

- le taux de récupération du bitume est de 80% et le coût est acceptable par rapport au système thermique. De plus, l'installation d'une unité pilote est faisable comparée à celle des méthodes thermiques, qui est compliquée.
- L'impact environnemental est minime.

L'inconvénient de ce procédé est que le bitume est très hétérogène, de ce fait, il est très difficile de séparer l'écume (Rafenomanatsoa A., 1976)

L'extraction à l'aide de solvant suit le principe d'extraction solide-liquide discontinue. Le solvant d'extraction est le kérosène. Les avantages de ce procédé sont le taux de récupération élevé jusqu'à 90% et le système d'extraction est

très rapide comparé à ceux des deux méthodes précédentes. Le produit obtenu est du bitume de très bonne qualité. Le principal inconvénient est le coût élevé de l'extraction (RAVELOSON, E. A., 1984). Comparé avec les résultats obtenus de cette extraction, le rendement est amélioré lors de l'utilisation du chloroforme. De plus, selon cette étude, le résidu est presque exempt d'impuretés. Néanmoins, l'installation d'une unité pilote d'extraction à solvant est non seulement très onéreuse, mais aussi les différents équipements sont fragiles et coûteux.

En définitive, la meilleure méthode d'extraction est donc la combinaison des 2 procédés sec et humide. En effet, il faut trouver un moyen d'augmenter le taux de récupération de la méthode au lavage à l'eau chaude et thermique à 95% et réduire le coût d'exploitation du procédé tout en se souciant de l'environnement. Le système d'extraction au solvant est très intéressant au niveau laboratoire mais l'installation d'une unité pilote n'est pas préconisée car l'installation est trop coûteuse.

5. CONCLUSION

Cette étude a été focalisée sur la valorisation du grès bitumineux de Bemolanga. Le choix de la méthode d'extraction est très important afin de pouvoir obtenir un meilleur rendement d'huile, au moins 90%, sans pour autant détériorer les propriétés de l'huile. Etant donné que le procédé thermique change les propriétés physico-chimiques de l'huile lourde, l'extraction à l'aide de solvant s'avère plus adéquat en termes d'extraction de l'huile du grès bitumineux de Bemolanga. Concernant le choix de solvant, le chloroforme offre le meilleur rendement d'extraction de 98,42% dont 90,32% de sable et 8,10% d'huile ; comparé au TCE qui est de 97,17%, dont 89,42% de sable et 7,77% d'huile.

Cependant, l'extraction à l'aide de solvant n'a jamais été appliquée à l'échelle industrielle à Madagascar. Bref, le choix de la méthode d'extraction du bitume de l'huile dépend des paramètres suivants : rendement d'extraction, coût et protection de l'environnement.

Après distillation de l'huile extraite du grès bitumineux de Bemolanga, le taux de gasoil obtenu est élevé, 73,1% pour H₁ et 54,4% pour H₂. Par contre, les fractions d'essence et de kérosène sont négligeables pour H₁ et pour H₂ le taux d'essence constitue 8% et le kérosène de 27%. Le taux de résidu peut atteindre un taux de 12% en moyenne. Les différentes coupes pétrolières des huiles de Bemolanga sont bien définies, celles-ci augmentent leur valeur commerciale de l'exploitation.

Dans un avenir proche, L'exploitation du grès bitumineux de Bemolanga conduira Madagascar à une indépendance énergétique, voire même à l'exportation de pétrole. Toutefois, cette exploitation ne sera possible que si nous trouvons des technologies d'extraction dites « technologies propres » soucieuses de l'environnement, rentables économiquement et dont les qualités des huiles extraites sont préservées et garanties.

Par ailleurs, la valorisation des sous-produits, notamment les sables dans le domaine de la verrerie, ont un futur très prometteur, dans la mesure qu'actuellement, tous les produits de verrerie sont tous importés. Nous ne pouvons pas prétendre aborder tous les aspects techniques, économiques et environnementaux de la valorisation du grès bitumineux de Bemolanga. Ainsi, dans l'avenir, nous souhaitons que d'autres études soient menées pour compléter la présente et pour approfondir les méthodes d'extraction les plus performantes que possibles. L'installation d'une unité pilote doit être affinée afin de mieux apprécier ce patrimoine national.

BIBLIOGRAPHIE

1. Aguilera, J. M., (2003):. Solid- liquid extraction. In: Extraction optimization in Food Engineering. Santiago: Universidade de catolica de Chile.
2. American Society for Testing and Materials (ASTM), (2002):Test method for flash point. United States, Patent No. ASTM D 96.
3. American Society for Testing and Materials (ASTM), (2002):Test method for the determination of kinetic viscosity. United States, Patent No. ASTM D445.
4. American Society for Testing Materials (ASTM), (1921):Standard test method for: Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure. s.l.:API.
5. American Society for Testing Materials (ASTM), (1989):Test Method for Distillation of Heavy Oils and Crudes Withdrawn (1989):United-States: ASTM Standard.

6. American Society for Testing Materials (ASTM), (1999):Standard test for: density, Relative density (Specific Gravity), or API Gravity of Crude petroleum and liquid petroleum products by hydrometer. Washington DC, Patent No. ASTM D4052-11.
7. Association Française de NORmalisation AFNOR, (1976):Détermination du point d'éclair. France, Patent No. NF M 070-19.
8. Association Française de NORmalisation AFNOR, (1989):Détermination du Résidu Conradson. France, Patent No. NF T60-116.
9. ASTM,(1999):Test method for API density. Washington DC, Patent No. ASTM D 287-12b.
10. Besairie, H., (1966):Gites minéraux de Madagascar, Antananarivo: s.n.
11. Cannell, R. J. P., (1998):Natural product isolation. New Jersey: s.n.
12. Chauvel, A et al.(1974): Manuel d'évaluation économique des procédés. In: Avant-projet en raffinage et pétrochimie. Paris: s.n., pp. 263-282.
13. Debysery, (1969):. Etude de la formation de bitume de Bemolanga Madagascar- Fascicule d'étude géochimique et recherche de leur origine. Antananarivo: s.n.
14. Drews, (1992):Manual on Hydrocarbons analysis. 5e ed. Philadelphia: s.n.
15. Hardel, J., (1984):Source de débouché Madagascar et l'industrie pétrolière, le grès bitumineux de Bemolanga. Antananarivo: s.n.
16. Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), (2004):tetrachloroethylene, s.l.: s.n.
17. Le Page, J. F et al.(1990):Raffinage et conversion du produit lourd de pétrole. Paris: Technip.
18. Leybros Jean, F. P., n.d. (1990):Extraction solide liquide. J2782 ed. s.l.:s.n.
19. OMNIS, (2005):Fascicule d'analyse chimique laboratoire OMNIS. Antananarivo: s.n.
20. Perret, J. et al. (1958):Pétrole brut et fractions pétrolières. 296 e ed. Paris: Institut Français de Pétrole.
21. Rafenomanatsoa A., (1976):Mise au point d'un procédé d'extraction d'huile a partir de grès bitumineux de Bemolanga, Antananarivo: s.n.
22. RAVELOSON, E. A., (1984):Procédé RTR, Antananarivo: s.n.
23. SPM, (1962):Grès bitumineux de Bemolanga, Antananarivo.
24. TOTAL E&P MADAGASCAR, 2010. Le projet Bemolanga, Antananarivo: s.n.

7. WEBOGRAPHIE

25. Environmental Impact Agency EPA, (2012):Tetrachloroethylene, [Online], Available at: <http://www.epa.gov>, [Accessed 22 mars 2014].
26. Environmental Impact Agency, (2012):Chloroform. [Online], Available at: <http://www.epa.gov/>, [Accessed 22 mars 2014].
27. Canada, C. M. D.- e., (2013):Tetrachloroethylene. [Online], Available at: www.ec.gc.ca, [Accessed 22 mars 2014].
28. Laxalde, J., (2012) :Analyse des produits lourds du pétrole par spectroscopie vibrationnelle, [Online] Available at: tel.archives-ouvertes.fr, [Accessed 21 février 2014].
29. Union Française des Industries Pétrolières UFIP, (2010) :comment fonctionne une raffinerie, [Online] Available at: fnepaca.fr, [Accessed 24 janvier 2014].