

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES ABREVIATIONS

PARTIE.1: ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPITRE 1. GENERALITES SUR LE PETROLE

- I. GENESE DU PETROLE [1]
- II. RESERVES MONDIALES [09], [19]
- III. PETROLES NON CONVENTIONNELS [05]
- IV. SPECIFICATION ET CLASSIFICATION DE GRES BITUMINEUX
- V. GISEMENT DE BEMOLANGA
- VI. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET LOCALISATION DU GISEMENT

CHAPITRE 2. PRESENTATION DE L'OMNIS

- I. HISTORIQUE : LES TRAVAUX DE L'OMNIS
- II. MISSIONS DE L'OMNIS
- III. ORGANIGRAMME STRUCTUREL DE L'OMNIS
- IV. DEPARTEMENT DU LABORATOIRE [28]

CHAPITRE 3. LES TRAVAUX EFFECTUES SUR LE GRES

- I. DEFINITION
- II. TYPES D'EXTRACTION

PARTIE.2: ETUDES EXPERIMENTALES

CHAPITRE 1. CARACTERISTIQUES DU GRES BITUMINEUX DE BEMOLANGA

- I. ASPECT PHYSIQUE DU GRES [30]

II. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DU GRES BITUMINEUX [30]

III. CARACTERISTIQUE DU BITUME DE BEMOLANGA

CHAPITRE 2. ANALYSE DE GRES BITUMINEUX DE BEMOLANGA

I. TENEUR EN BITUME

II. ANALYSE DE RESIDU

III. RESULTAT ANALYSE COMPLETE : ECHANTILLON BEMOLANGA CARRIERE DRIEZ

IV. ANALYSE MINERALOGIQUE

PARTIE.3: PERSPECTIVES ET IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT

CHAPITRE 1. POSSIBILITE DE VALORISATION DU GRES BITUMINEUX

I. GENERALITE

II. UTILISATION DIRECTE DES GRES BITUMINEUX EN HYDROCARBURE [45]

III. UTILISATION DU BITUME EN LIANT HYDROCARBONE [26]

IV. BITUME ROUTIER [26]

V. UTILISATION DIRECTE DES GRES BITUMINEUX EN REVETEMENT ROUTIER [26] [27]

CHAPITRE 2. ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

I. ETUDES D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX (EIE)

II. EVALUATION DES IMPACTS

III. GESTION ENVIRONNEMENTALE ET METHODES DE PREVENTION DES RISQUES

IV. LA REMISE EN ETAT DU SITE

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

WEBOGRAPHIE

ANNEXES

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classification de l'huile	18
Tableau 2 : Caractéristique physique du grès	45
Tableau 3 : Analyse minéralogique par rayon X	46
Tableau 4 : Composition chimique du bitume extrait.....	46
Tableau 5: Caractéristique physico-chimique du bitume de Bemolanga	46
Tableau 6 : Résultat de l'extraction SOXHLET.....	52
Tableau 7: Résultat du tamisage.....	53
Tableau 8: Calcul des modules	54
Tableau 9: teneur en cendre	58
Tableau 10: Analyse chimique du résidu minéral.....	59
Tableau 11 : Dosage de la silice.....	59
Tableau 12 : Somme des hydroxydes.....	59
Tableau 13 : Dosage de Fe_2O_3/Dosage par complexometrie à l'aide de l'EDTA	60
Tableau 14 : Dosage TiO_2/Dosage colorimétrique par TiO_2.....	60
Tableau 15 : Dosage de CaO / Dosage par $KMnO_4$.....	60
Tableau 16 : Dosage MgO	60
Tableau 17 : analyse minéralogique résidu 1.....	61
Tableau 18 : analyse minéralogique résidu 2.....	61
Tableau 19 : Résultats sur les plaquettes	83
Tableau 20 : Dimensionnement des trous.....	83
Tableau 21 : Résultat sur sol	84
Tableau 22 : résume l'identification des impacts potentiels possibles dans une exploitation minière.....	96
Tableau 23 : résume l'identification des impacts potentiels possibles sur le milieu biologique	97
Tableau 24 : résume l'identification des impacts potentiels possibles sur le milieu socio-économique.....	98

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : Périodes de la formation du pétrole</i>	7
<i>Figure 2 : Formation du pétrole</i>	8
<i>Figure 3 : Pièges</i>	10
<i>Figure 4 : Coexistence du conventionnel et du non conventionnel</i>	12
<i>Figure 5 : Diagramme de réserves mondiales de pétrole brut par pays</i>	13
<i>Figure 6 : Ressources mondiales en pétrole non conventionnel</i>	14
<i>Figure 7 : Classification de pétroles non conventionnels</i>	18
<i>Figure 8: Carte de localisation du Bloc 3102 et des secteurs d'étude de Bemolanga</i>	22
<i>Figure 9 : Carte de localisation du Bloc 3102 et de la zone d'intérêt de Bemolanga</i>	23
<i>Figure 10 : Organigramme structurel de l'OMNIS</i>	28
<i>Figure 11 : Procédé d'extraction</i>	34
<i>Figure 12 : Usine de traitement</i>	35
<i>Figure 13 : Bilan de circuit de bitume (Débit en Tonne/heure de bitume)</i>	38
<i>Figure 14 : Diagramme simplifié de procédé L.R.</i>	39
<i>Figure 15 : Courbe granulométrique</i>	54
<i>Figure 16 : Principe de « Delayed coking »</i>	67
<i>Figure 17 : Schéma de fabrication</i>	68
<i>Figure 18 : Procédé de fabrication</i>	70
<i>Figure 19 : Diagramme ternaire de représentation des bitumes</i>	71
<i>Figure 20 : Goutte de liquide déposée sur un support solide</i>	74
<i>Figure 21 : Arbre de cycle de vie d'une construction d'un revêtement routier à partir du grès bitumineux</i>	88
<i>Figure 22 : Arbre de cycle de vie d'hydrocarbure à partir du grès bitumineux</i> 89	
<i>Figure 23 : Aperçu général de l'aménagement du site</i>	102

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Exploitation des sables bitumineux de la mine de Syncrude.....	30
Photo 2 : Grès bitumineux.....	45
Photo 3: préparation de l'échantillon.....	49
Photo 4 : Concasseur.....	49
Photo 5: Quarter Jones.....	50
Photo 6: Extraction au SOXHLET.....	51
Photo 7: ROTAVAPOR	51
Photo 8 : Tamiseur	53
Photo 9 : Appareil Conradson.....	56
Photo 10 : Dessiccateur.....	56
Photo 11 : Carrière Driez concassé.....	81
Photo 12 : Couches de roulements.....	82
Photo 13 : Couches.....	85
Photo 14 : Impact sur la faune.....	90
Photo 15 : Pollution d'une plage	90
Photo 16 : Raffineries d'hydrocarbures en Alberta	91
Photo 17: Pollution de l'air	92
Photo 18 : Pollution des eaux et impacts	94
Photo 19 : Déforestation	94

LISTE DES ABREVIATIONS

CD :	Compacité Duriez
CEM:	Charte des Environnements Malgache
CSC :	Captage et Stockage de Carbone
CSS :	Cyclic Steam Simulation
DPRH OMNIS: Direction du Personnel et des Ressources Humaines de l'OMNIS	
EDC :	Les enrobés denses à chaud
EIE :	Etude d'Impact Environnemental
i_c :	Indice d'instabilité
i_E :	tension d'adhésion de l'eau
i_i :	tension interfaciale de l'eau
i_l :	tension d'adhésion du liquide
i_1 :	tension d'adhésion du corps 1
i_2 :	tension d'adhésion du corps 2
l :	largeur
L :	Longueur
$mN.m^{-1}$:	milliNewton par mètre
OMNIS :	Office des Mines Nationales et des Industries Stratégiques
PC :	pouvoir calorifique
POI :	Plan d'Opération Interne
PU :	Plan d'Urgent
r :	facteur de rugosité
R C :	résistance à la compression

$R' C$:	résistance à l'immersion
$R'c/Rc$:	Rapport immersion/compression
SAGD:	Steam Assisted Gravity Drainage
S.P.M :	Société de pétrole de Madagascar
T :	température
TCE :	tétrachloroéthylène
T_{eb} :	température d'ébullition
v :	vitesse
V :	volume
ν :	viscosité
W :	travail
$W_{adhésion}$:	travail d'adhésion
$W_{cohésion}$:	travail de cohésion
θ :	angle de contact
θ' :	angle de contact apparent
Φ :	ouverture des mailles utilisées au laboratoire
σ_c :	tension critique de mouillage
σ_L :	tension superficielle du liquide
σ_s :	énergie de surface
σ_{SL} :	tension interfaciale entre solide et liquide
σ_1 :	tension du corps 1
σ_2 :	tension du corps 2
σ_{12} :	tension interfaciale entre le corps 1 et 2

INTRODUCTION

Le pétrole, littéralement « huile de pierre », est devenu une ressource stratégique de l'industrie, mais surtout l'un des piliers de l'économie mondiale.

Depuis l'Antiquité jusqu'à nos jours, il n'a cessé d'être utilisé pour diverses fins les unes aussi importantes que les autres. Sa découverte a énormément pourvu aux besoins de l'homme, depuis les besoins énergétiques jusqu'aux besoins domestiques, en passant par les besoins industriels.

On le retrouve sous différents états, dans différents pays, et dans différents endroits du sol et du sous-sol, et se laisse exploiter par l'homme de toutes les manières possibles.

On distingue deux types de pétrole : le pétrole conventionnel et le pétrole non conventionnel. La grande différence se trouve essentiellement dans leur méthode de production.

Or, vu la hausse du prix du baril du pétrole brut conventionnel sur le marché international, entraînant aussi la hausse du prix des besoins quotidiens à l'échelle mondial, l'exploitation des pétroles non conventionnels pourrait constituer une solution pour répondre à notre demande à taux croissant et garantir l'indépendance énergétique à long terme. Certaines sociétés ne cessent de faire des travaux d'exploration comme la compagnie TOTAL, Madagascar Oil, Exxon Mobil,....

Une grande partie des accumulations d'hydrocarbures mondiales se trouvent sous forme d'huile lourde, extra lourde ou de bitume.

Pour le cas de Madagascar, beaucoup de forages ont été réalisés, tels que le gisement de grés bitumineux à Bemolanga et le gisement sous forme d'huile lourde localisé à Tsimiroro. Ces deux sites quoique localisés à une distance relativement proche l'un de l'autre, sont de nature différente et les méthodes d'exploitation devront tenir compte de la spécificité de ces hydrocarbures respectifs.

Une étude préliminaire et approfondie sur la géologie, définissant les réservoirs et les procédés de l'exploitation, est activée par l'Office des Mines Nationales et des

Industries Stratégiques ou OMNIS, aboutissant ainsi à la détermination des zones d'intérêt.

Des échantillons grés bitumineux de Bemolanga ont été choisis pour mener à terme des travaux de recherches qui font l'objet de cette étude.

Le bitume extrait du grès de Bemolanga est aussi appelé « brut synthétique » avec lequel, et à travers différents raffinages sont obtenus :

- Du gas-oil
- Des essences pour carburant
- Du pétrole lampant
- Aussi que de bitume routier

Nous n'allons pas détailler tous ces modes de traitement, néanmoins, nous allons annoncer quelques procédés qui nous font comprendre les traitements à suivre pour arriver à ces différents produits.

Le but de ce présent mémoire est de distinguer minutieusement, les modes respectifs d'extraction, de traitement, de transformation et l'utilisation directe des grés bitumineux de Bemolanga comme revêtement routier.

A cet effet, le travail se divisera en trois parties :

La première partie concerne les études bibliographiques : genèse, réserves mondiales, spécification et classification ; puis sur celles de Bemolanga en particuliers : situation géographique, localisation du gisement et méthode d'exploitation effectuée par la compagnie TOTAL ; la présentation de l'OMNIS. Les travaux effectués sur les grés : les types d'extractions et les procèdes à Madagascar.

Dans la deuxième partie ; nous nous étalerons sur les études expérimentales, concerne la caractérisation de ces échantillons des grés bitumineux de Bemolanga analyses physico-chimiques. Ainsi que les résultats des études expérimentales effectuées au laboratoire de l'OMNIS et au laboratoire de l'ESPA.

La troisième partie sera consacrée à la valorisation des grés bitumineux et les impacts sur l'environnement.



PARTIE.1: ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPITRE 1. GENERALITES SUR LE PETROLE

I. GENESE DU PETROLE [1]

I.1. THEORIES ORGANIQUES

La théorie organique explique l'origine du pétrole à partir de l'enfouissement progressif de roches sédimentaires contenant des débris organiques surtout d'origine marine ou lacustre (planctons, algues...). Ces roches, dites roches-mères ou roches-sources, ont été suffisamment scellées pour que la matière organique se transforme en pétrole, en gaz naturel et aussi en houille sous l'action de la température et de la pression. Malgré leur forte imperméabilité, elles ont libéré du pétrole et du gaz naturel qui se sont en partie accumulés dans des roches poreuses ou fissurées : les roches réservoirs.

De nombreuses observations appuient cette théorie :

- ✚ Les différents types de roche, au cours de la formation et de la migration du pétrole, ont été trouvés avec leur contenu organique ;
- ✚ La roche-mère se trouve toujours dans un bassin sédimentaire. Elle a alimenté des roches sédimentaires plus poreuses et des roches ignées ou métamorphiques suffisamment poreuses et proches, connectées avec elle par la tectonique de la lithosphère et les failles résultant ;
- ✚ La théorie de la tectonique des plaques explique la formation de pièges (plissements, failles) et la formation des bassins sédimentaires ;
- ✚ Les rapports isotopiques des éléments carbone(C) et hydrogène(H) semblent indiquer une origine organique ;
- ✚ Les principaux éléments carbonés, hydrogène et d'azote(N) présents dans le pétrole sont aussi ceux des organismes biologiques. Une grande partie d'oxygène(O) a été transformée par des bactéries en dioxyde de carbone (CO_2) ou eau (H_2O), progressivement expulsés lors de l'enfouissement. De même, une partie d'azote (N) a donné N_2 et des oxydes d'azote. Le soufre (S) proviendrait des sels de sulfate dissous dans la mer ;

- ✚ La présence de molécules d'origine biologique a été constatée dans tous les gisements de pétrole (ex : porphyrine dérivée de la chlorophylle) : ce sont les fossiles géochimiques ou biomarqueurs, se retrouvant presque inchangées. Elles permettent d'associer roches-mères et roche-réservoir, de caractériser le pétrole en indiquant son origine biologique et son environnement, et même de situer le début de l'enfouissement de la matière organique ;
- ✚ La présence de pétrole en-dessous d'une certaine profondeur (vers 3 à 5 km, en fonction des conditions locales de température) est de plus en plus faible. Les conditions thermodynamiques de ces profondeurs, température élevée mais pression faible, provoquent sa dégradation progressive en méthane ;
- ✚ La présence dioxyde (O_2) sur la Terre est principalement due à l'apparition d'organismes biologiques et à l'enfouissement d'une petite partie de leurs cadavres sans oxydation. A l'origine oxygène était sous forme de molécules plus stables comme dioxyde de carbone, eau et quelques oxydes métalliques et métalloïdiques. L'apparition de la vie a permis la dissociation par photosynthèse du dioxyde de carbone et d'eau. En contrepartie elle a créé des stocks de matériaux hydrocarbonés sous forme réduite. En se basant sur le fait que les éléments se conservent, on peut estimer leurs quantités à partir des quantités de dioxyde présentes dans l'atmosphère et dans les oxydes solides de la croûte.
- ✚ La conséquence de la théorie organique est que le pétrole comme les autres ressources fossiles sont de quantités finies. Elle est arrivée à un tel degré de maîtrise que l'analyse d'échantillons de roches-mères établisse le potentiel d'un bassin.

I.2. FORMATION

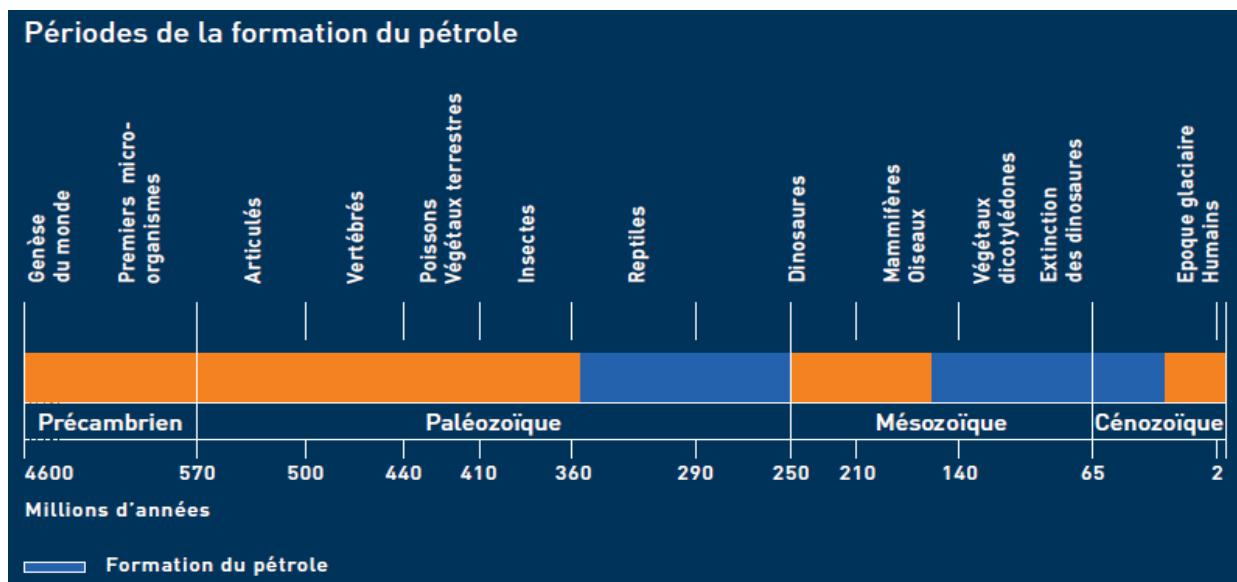


Figure 1 : Périodes de la formation du pétrole

Le pétrole, dont les réserves déterminent notre quotidien, s'est formé, il y a 20 à 350 millions d'années, dans les bassins sédimentaires peu profonds des océans. Les plus anciens gisements connus remontent à quelque 500 millions d'années, les plus récents à 4000 ans à peine.

I.2.1. EROSION

La croûte terrestre est un système biophysique et chimique en perpétuelle mutation, au sein duquel les roches se transforment constamment par action du vent, de l'eau, des glaciers, des mouvements telluriques, des éruptions volcaniques, des agents biologiques et chimiques ainsi que des températures et pressions extrêmes qui les dégradent ou permettent leur formation.

Par le phénomène d'érosion, les pluies arrachent non seulement du sable, des argiles et des limons mais aussi de la matière organique provenant de végétaux, animaux, algues et autres formes de vie microscopique, qui sont transportés par les rivières jusqu'à la mer ou vers des masses d'eaux continentales.

1.2.2. SEDIMENTATION ET MIGRATIONS

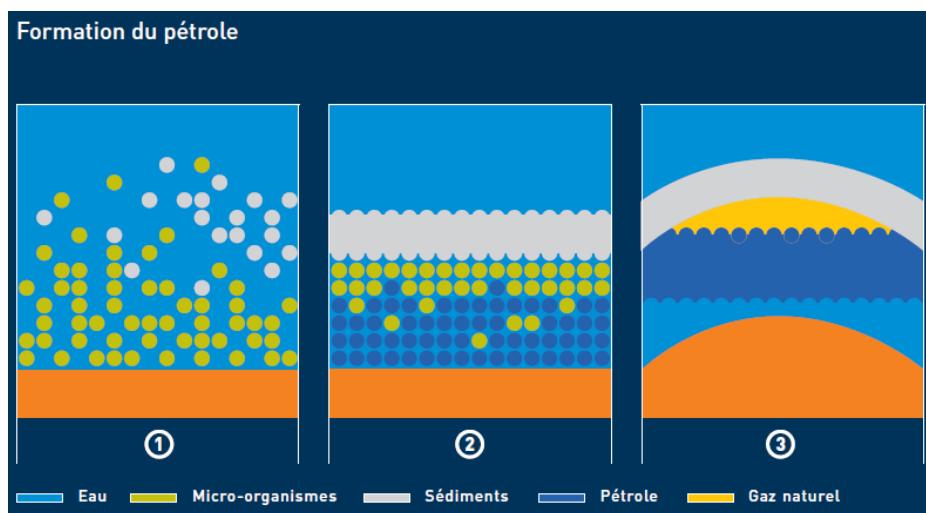


Figure 2 : *Formation du pétrole*

- 1 : Dépôt de micro-organismes, recouvert de matériaux imperméables. Transformation par des bactéries anaérobies ;
- 2 : Tassement et solidification des couches de sédimentation. Autre transformation sous l'effet de la pression et de l'élévation de la température ;
- 3 : Plissement des couches de sédimentation. Migration et sédimentation de gaz, d'huile et d'eau.

Le mélange se lie à d'autres matières organiques et inorganiques et se sédimente dans les fonds marins, pauvres en oxygène : ils se déposent en grandes quantités, formant une couche sédimentaire. L'accumulation de nouvelles strates de sédiments sur les premières les soumettent à une forte pression et à des changements de température qui, conjointement avec la décomposition de la matière organique due à l'action des microorganismes, permettent la formation du kérogène. Les sédiments inorganiques eux finissent par se compacter en formant les roches sédimentaires. Quand ces roches accompagnent la formation de pétrole, elles prennent le nom de roches-mères.

Le pétrole se trouve initialement dans les porosités de la roche-mère, mais comme tous les liquides se trouvent en présence de gaz, il cherche à atteindre des zones où les pressions sont inférieures, c'est-à-dire dans les strates superficielles. Les roches

poreuses au travers desquelles migre le pétrole sont appelées roches conductrices et le mouvement qu'il subit porte le nom de migration primaire.

Finalement les hydrocarbures atteignent des roches très poreuses où la pression est inférieure et que l'on désigne sous le nom de roche-réservoir ou roche-magasin, les mouvements qui s'y produisent s'appellent migration secondaire. Ces roches se comportent comme des éponges imbibées de pétrole, de gaz et dans certains cas d'eau accompagnant les dépôts d'hydrocarbures. La porosité de ces roches détermine la capacité d'accumulation et de mobilité des fluides. Il peut arriver que le gaz et le pétrole atteignent la superficie, soit au travers de roches poreuses, soit par des fissures ou des failles : c'est la dysmigration.

Dans la majorité des cas, les hydrocarbures restent confinés dans la roche-réservoir car elle est entourée de roches peu perméables appelées roches de couverture (argiles, sel, etc.) empêchant le passage des fluides.

I.2.3. PIEGES [03], [12], [04], [05]

L'existence d'une accumulation de pétrole, suffisante pour constituer à l'intérieur d'une roche-réservoir un gisement, requiert l'existence de conditions géologiques structurelles ou stratigraphiques particulières : ce sont les pièges à pétrole et on les classe selon l'origine de la roche.

Les couches de sédiments se disposent en strates horizontales ou inclinées, parallèles ou non. Cependant, ces strates sont soumises à de fortes pressions dues à la force propre de la croûte terrestre qui arrivent à plier, à fracturer ou à incliner ces couches. Si le matériel des filons manque de rigidité, il se formera des plis ou des ondulations ; sinon, les strates se fractureront en créant des failles. Certains matériaux tendres ont aussi tendance à se déplacer au travers des fractures très rigides.

Selon la forme finale du plissement ou de la faille, on peut avoir :

- ✓ Un pli anticlinal ;
- ✓ Un pli synclinal ;
- ✓ Un pli déversé ;
- ✓ Un pli couché ;
- ✓ Une faille verticale.

Lors de la formation de ces plissements et fractures, les roches-réservoirs contenant du pétrole et du gaz restent limitées par les roches de couverture. Différents types de pièges à pétrole peuvent dès lors se présenter comme suit:

- Piège formé par un dôme salin (diapir) ;
- Piège formé par un pli (anticlinal) ;
- Piège formé par une faille.

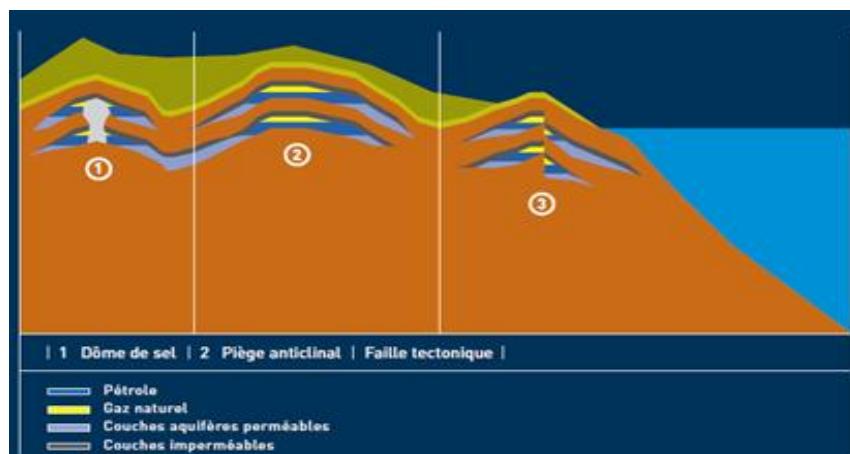


Figure 3 : Pièges

Pour accumuler des grandes quantités de pétrole et de gaz rentables pour l'exploitation, le sous-sol devra présenter une forme (géométrie fermée) suffisamment grande : c'est **le piège**.

Une fois bien tranquillement nichés dans leur piège, notre pétrole et notre gaz ne devront pas être déstabilisés par des agressions venues de l'extérieur.

Profondeur :

- 150 à 300m : huile lourde
- 2200 à 3800m : fenêtre à huile (pétrole)
- 3800 à 5000m : fenêtre à gaz

Remarque :

La proportion des hydrocarbures liquide et gaz dépend de la nature de la roche mère:

- débris organiques d'origine animale dominants, cas où les liquides sont en grande quantité ;
- débris végétaux dominants : le taux de gaz est supérieur à celui de liquide.

I.2.4. GISEMENTS

Dans la réalité, les formes des gisements d'hydrocarbures peuvent être très variées. De même, le comportement des gisements diffère selon la composition de ses composants. Les dépôts de pétrole peuvent être accompagnés de gaz, d'eau ou des deux à la fois. Les différences de pression et d'énergie à l'intérieur du gisement dépendent de la présence et de la quantité de l'un et de l'autre. Ceci est très important pour l'exploitation du pétrole étant donné que la pression et l'énergie contenues dans le gisement peuvent faciliter l'extraction du pétrole.

Le gaz peut être dissout dans le pétrole ou occuper la partie supérieure du bassin, sa densité étant plus faible. Au fur et à mesure que la pression à l'intérieur du gisement diminue, le gaz s'épand en poussant l'huile au travers des pores de la roche-réservoir, ce qui génère un courant vers le puits d'extraction. De cette façon, entre 40 et 75% du total du pétrole contenu au départ peut être extrait. Dans de nombreux cas, d'importantes masses d'eau accompagnent les dépôts, fournissant une énergie additionnelle qui facilite l'extraction. L'eau se déplace vers les zones de moindre pression, ce qui provoque un déplacement de l'huile et du gaz de la partie inférieure

du gisement, qui crée à son tour une force capable de maintenir la pression à l'intérieur du gisement. Le rendement d'exploitation dans ce cas peut atteindre 85%.

HYDROCARBURES NON CONVENTIONNELS (Diffus)

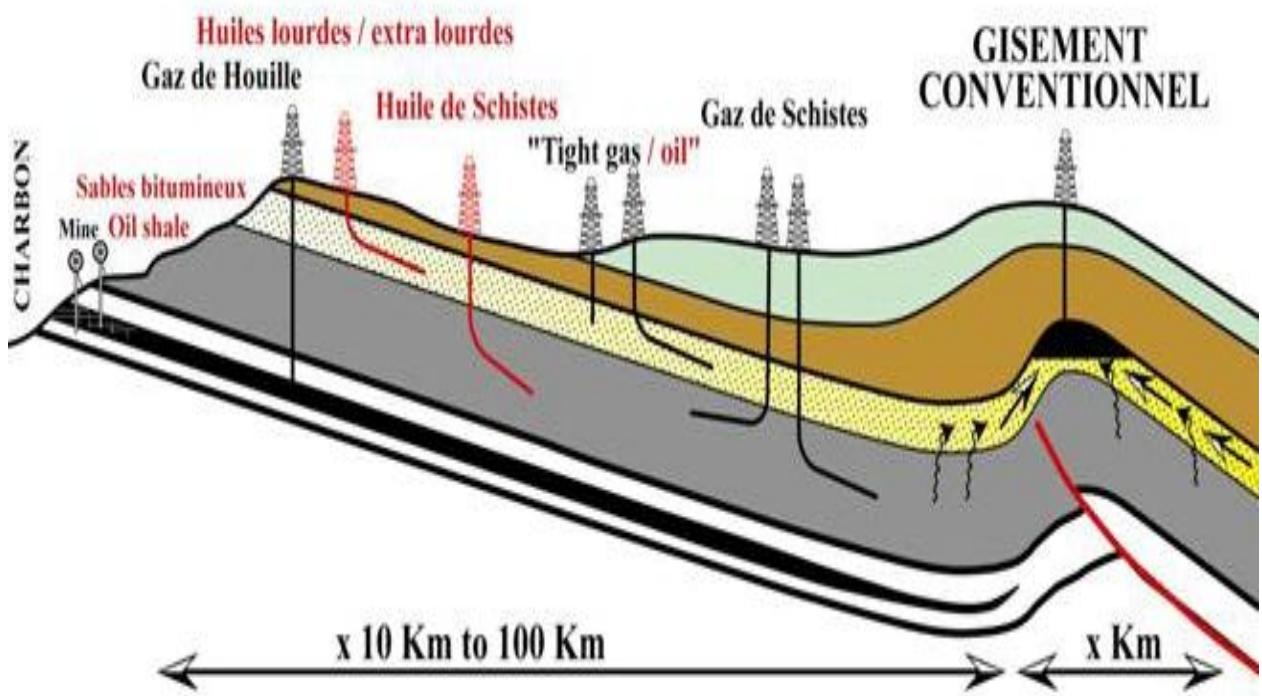


Figure 4 : Coexistence du conventionnel et du non conventionnel

II. RESERVES MONDIALES [09], [19]

Les conditions géologiques les plus favorables à la formation du pétrole se sont présentées dans l'actuel Moyen-Orient, voilà plusieurs millions d'années. Deux tiers des réserves connues se trouvent dans la péninsule d'Arabie. L'Arabie Saoudite détient à elle seule 36 milliards de tonnes de pétrole, soit près d'un quart des réserves mondiales.

D'autres gisements pétrolifères importants se trouvent en Irak, dans les Emirats Arabes Unis, au Koweït et en Iran. L'Amérique du Sud (Venezuela et Mexique), comme nous l'avons déjà dit, recèle aussi d'énormes quantités de pétrole, de même

que la région de la mer Caspienne et l'Afrique du Nord (notamment la Libye et le Nigeria). De nombreux champs pétrolifères plus petits se trouvent répartis dans le monde. Les réserves européennes se situent essentiellement en mer du Nord.

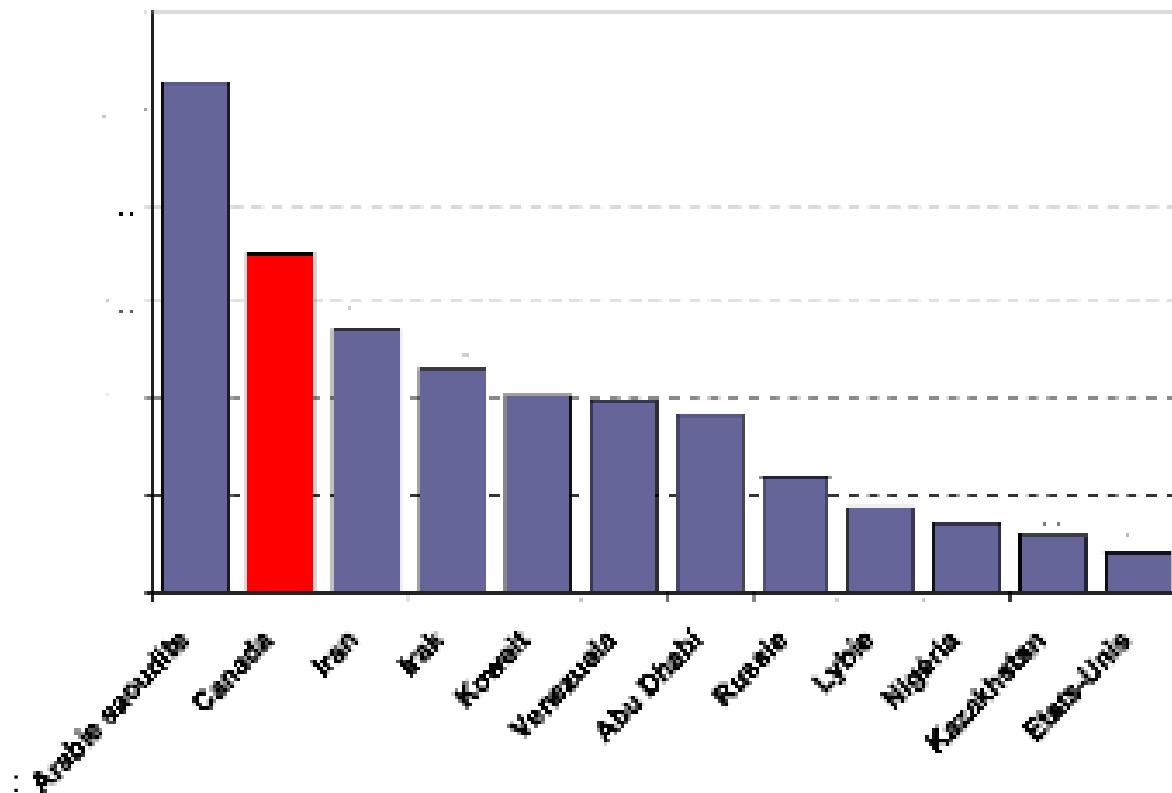


Figure 5 : Diagramme de réserves mondiales de pétrole brut par pays.

Source: auteur, d'après CAPP, 2010.

III. PETROLES NON CONVENTIONNELS [05]

Le pétrole non conventionnel est un pétrole produit ou extrait en utilisant des techniques autres que la méthode traditionnelle de puits pétroliers, ou impliquant un coût et une technologie supplémentaires en raison de ses conditions d'exploitation plus difficiles. On ne les trouve pas dans une nappe, ils sont emprisonnés dans leur roche-mère très peu poreuse sur de grandes étendues, éventuellement à de très grandes profondeurs (1 à 3 km).

On distingue les pétroles non conventionnels contenus dans un réservoir :

- Les tightoils ;
- Les pétroles lourds ou extra-lourds ;
- Les sables bitumineux ;
- Les pétroles profonds (deepoil).

Ceux contenus dans une roche-mère sont :

- Les schistes bitumineux ;
- Les grès bitumineux ;
- Les pétroles de schiste.

:

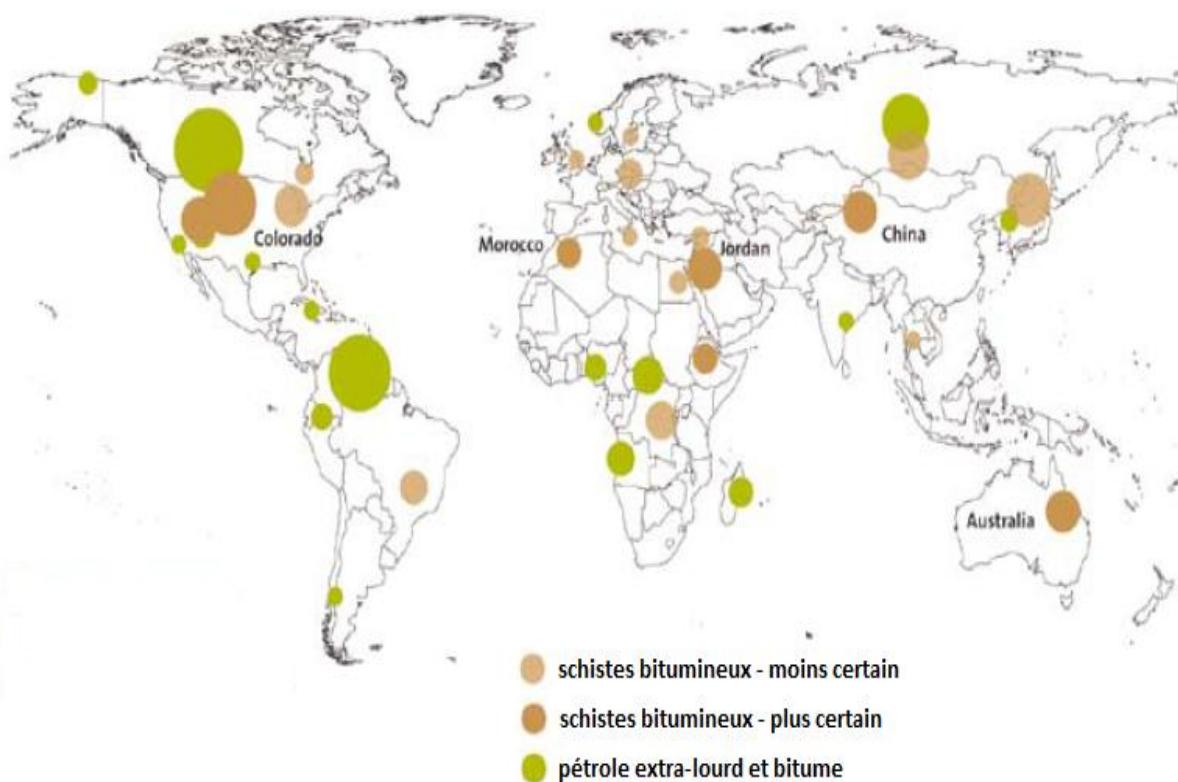


Figure 6 : Ressources mondiales en pétrole non conventionnel

Source: **Friends of the Earth, 2010**

III.1. LES TIGHT OILS

Ce sont des hydrocarbures liquides contenus dans de très mauvais réservoirs. On les trouve dans : le Bakken Shale, la Niobrara Formation, le Barnett Shale, et l'Eagle Ford Shale dans les Etats-Unis, la R'Mah Formation en Syrie, la Sargelu Formation dans le nord de la région perse du Golfe, l'Athel Formation en Oman, la Bazhenov Formation et l'Achimov Formation en Sibérie de l'Ouest, et la Chicortepec Formation en Mexico.

III.2. LES PETROLES LOURDS OU EXTRA-LOURDS

Ces pétroles sont appelés lourds du fait de leur forte densité et d'une très forte viscosité qui rend impossible une extraction classique même dans des réservoirs de bonne qualité. Dans la majorité des cas il s'agit d'anciens gisements conventionnels dont le pétrole a été altéré par une intense activité bactérienne.

Actuellement, seuls l'Athabasca au Canada et la vallée de l'Orénoque au Venezuela produisent des pétroles extra-lourds, mais il en existe des réserves (beaucoup plus petites) à d'autres endroits : Madagascar, Russie, Alaska, Inde, ...

Au Venezuela, la ceinture de l'Orénoque, contient à peu près 1200 milliards de barils, souvent classé comme brut extra-lourd et non comme sables bitumineux (annexe2). Ils sont très visqueux, mais les hydrocarbures qu'ils contiennent, étant moins dégradés et plus chauds que ceux des réserves canadiennes, sont suffisamment mobiles pour être pompés par des techniques conventionnelles et donc sensiblement plus faciles à extraire (Hutchinson, 2010). Ils sont souvent qualifiés d'huiles extra-lourdes et non de sables bitumineux. Les réserves réparties sur une surface de 50000 m² dépassent probablement le billion de barils (Dusseault, 2001). Des estimations récentes, non attestées encore, annoncent des volumes de bitume récupérables se situant entre 380 et 652 milliards.

III.3. LES SABLES BITUMINEUX [18]

Les sables bitumineux sont composés de sable (le réservoir initial) et de bitume qui est un mélange d'hydrocarbures très visqueux (voire solide) à température ambiante. Là encore on peut penser qu'il s'agit d'un gisement conventionnel qui a été porté en surface par érosion ou par des mouvements tectoniques. L'altération bactérienne est encore plus importante que pour les pétroles lourds ou extra-lourds.

C'est au nord de l'Alberta (annexe3), dans le bassin d'Athabasca, que les principaux gisements de sables bitumineux se trouvent. L'Alberta possède la troisième réserve prouvée de pétrole du monde. Les termes « réserves prouvées » définissent les réserves de pétrole récupérables par les technologies existantes et les conditions économiques présentes et prévisibles, et prouvées par le forage ou la production, plus les portions de réserves, dont l'existence est estimée avec un certain degré de certitude par des informations géologiques et géophysiques.

Près de 20 entreprises opèrent en Alberta, dont les deux plus importantes : Syncrude et Suncor. Les réserves de l'Alberta représentent plus de 1700 milliards de barils.

Il existe un vaste gisement en Sibérie Orientale, dans la région de l'Olenek, mais pratiquement aucune information n'est disponible à son sujet. La Russie possède d'autres dépôts de sables bitumineux dans la région Volga-Oural (Tatarstan et régions voisines), moins vastes que ceux de l'Olenek mais moins difficile d'accès. Des réserves de petite taille existent dans au moins une cinquantaine de pays.

III.4. LES SCHISTES BITUMINEUX

Il s'agit d'une roche-mère de très bonne qualité mais qui n'a pas été suffisamment enfouie pour transformer la matière organique en hydrocarbures.

Seuls 33 pays possèdent des gisements économiquement valorisables bien qu'on en trouve dans de nombreux autres. Entre autres, les gisements du Green River dans l'Ouest des États-Unis (plus grands gisements), du Tertiaire du Queensland en Australie, de Suède et d'Estonie, d'El-Lajjun en Jordanie, de France, d'Allemagne, du Brésil, de la Chine, de la Mongolie du Sud, du Maroc et de la Russie.

III.5. LES PETROLES DE SCHISTES (Oil in shales, shalyoil)

Dans ce cas, l'enfouissement de la roche-mère a été suffisant pour transformer la matière organique en hydrocarbures liquides. Ces hydrocarbures liquides restent piégés dans la roche-mère. L'exploitation de ces hydrocarbures liquides piégés dans un milieu non poreux et imperméable nécessite l'utilisation de forages horizontaux et de fracturation hydraulique.

Actuellement, seul le bassin de Williston (à cheval sur les Etats-Unis et le Canada) produit ce type d'hydrocarbures non conventionnels.

III.6. LES GRES BITUMINEUX

Dans le monde, Madagascar est le seul pays à en disposer, dans le bassin de Morondava (Bemolanga situé à 150Km de la côte Ouest de Maintirano),

IV. SPECIFICATION ET CLASSIFICATION DE GRES BITUMINEUX

IV.1. SPECIFICATION [08], [05]

Les grés bitumineux sont des pétroles non conventionnels très lourds, plus visqueux, plus difficiles à récupérer, de forte densité, de forte viscosité et de forte teneur en impuretés.

Les grés bitumineux étant considérés comme moins purs, ils nécessitent un système de raffinage plus pointu et complexe pour pouvoir en extraire du pétrole léger, coutant alors plus cher.

IV.2. CLASSIFICATION [14], [15], [16]

Il existe trois catégories d'huiles: huile légère, huile moyenne et huile lourde, qui se caractérisent par leur densité, leur densité en degré A.P.I et leur viscosité.

Tableau 1: Classification de l'huile

Huile	Légère	Moyenne	Lourde
Densité	$d < 0,83$	$0,83 < d < 0,87$	$d > 0,87$

Source : Centre Canadien Info Énergie

Le brut léger a une densité en degré A.P.I supérieure à 31.1°, le brut moyen a une densité d'entre 22.3° et 31.1° et le pétrole lourd a une densité de moins de 22.3° comme les huiles lourdes, les bitumes et sables bitumineux.

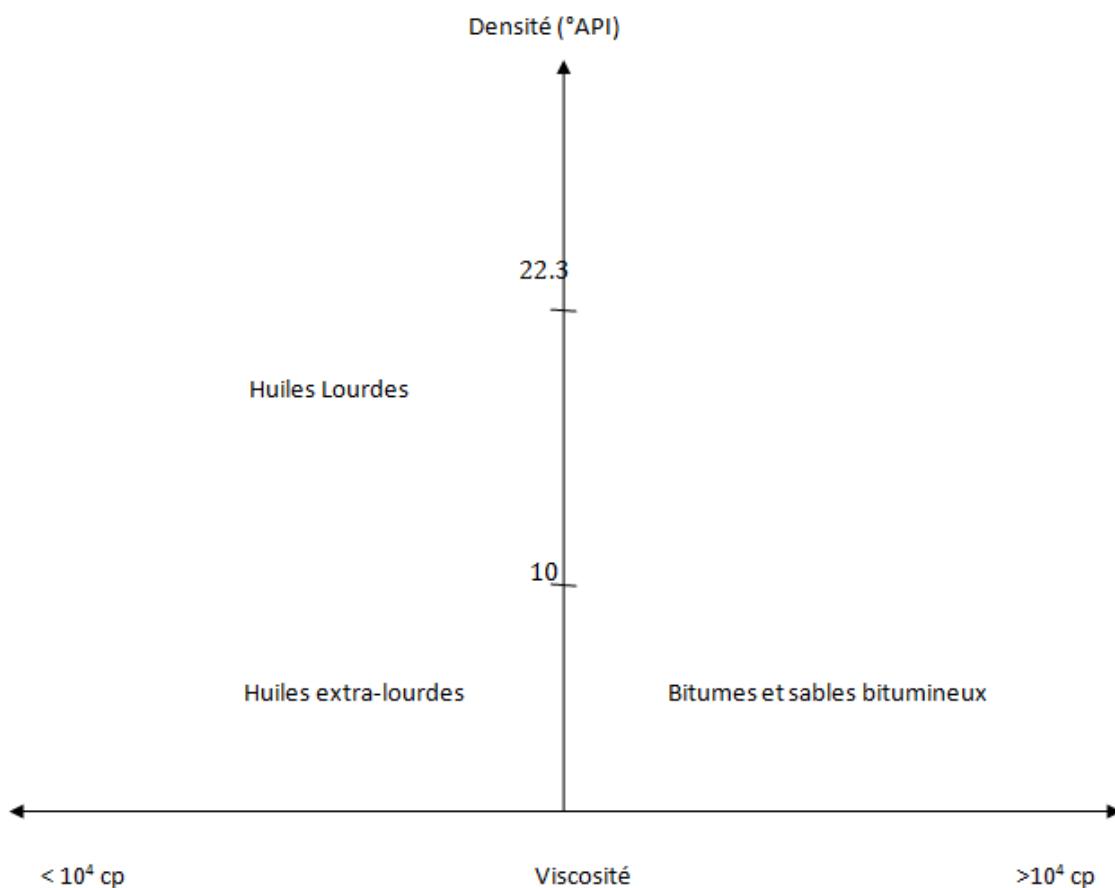


Figure 7 : Classification de pétroles non conventionnels

V. GISEMENT DE BEMOLANGA

V.1. HISTORIQUE DE GRES BITUMINEUX [6], [7],[17]

L'existence du grès bitumineux de Bemolanga a été connue depuis longtemps. La population environnante du gisement a utilisé ce matériau dans divers domaines (combustibles, rebouchage de toiture ...). Les premières prospections et études techniques du gisement ont été réalisées par divers organismes (service géologique, Société des Pétroles de Madagascar, OMNIS depuis 1900).

Dès 1925, le service des mines mena des travaux préliminaires et mit en évidence l'existence d'un énorme gisement.

En 1953, la Société des Pétroles de Madagascar (SPM) avec l'aide de l'Institut

Français du Pétrole (IFP) commencèrent à réaliser des sondages dans la partie Nord du gisement ayant pour but de reconnaître l'importance des niveaux stériles superficiels et de la teneur en bitume du grès bitumineux de Bemolanga. Une centaine de trous ont été effectués mécaniquement totalisant 1 948 mètres de forage.

En 1959, quatre sondages poursuivis jusqu'au socle cristallin ont été exécutés. Les sondages ont permis de dessiner le profil du gisement et de reconnaître l'ensemble des couches imbibées.

En 1959 également, une carrière a été ouverte sur la rive gauche de la rivière Mitsiotaka. Les travaux de reconnaissance détaillés des affleurements bitumineux et des zones d'intérêt ont été effectués par une équipe dirigée par J. Boury puis par J. Baner en 1961. Les travaux ont mis en évidence l'importance du gisement d'hydrocarbure.

V.2. RESERVES [2]

Le gisement estimé recouvre en totalité une surface d'environ de 420 km². En fonction des indices de surface (suintement de bitume, aspect visuel du grès bitumineux de Bemolanga ...) et des divers forages d'investigation réalisés auparavant, le gisement est subdivisé en plusieurs zones d'intérêts allant de la zone I à la zone XI (annexe1).

Le gisement a été réparti en deux concessions :

- concession à forte teneur en bitume : zone I, II, III et zones VI, VII, VIII, X d'une superficie de 120 km² environ avec une teneur en bitume de 5 à 12% ;
- concession à faible teneur en bitume d'une superficie d'environ 300 km² et dont la teneur moyenne en bitume est de 2 à 5 % pouvant atteindre parfois les 8 %. Cette zone se trouve dans la partie centrale Sud du gisement comprenant les zones II bis, V, IV, et XI et une portion des zones X et III.

L'ensemble du gisement est recouvert d'une couche stérile constituée principalement de carapace argilo-sableuse ou d'argile d'épaisseur variable et selon les données existantes, cette couche peut atteindre jusqu'à 15 mètres.

Au-dessous de cette carapace se trouve la couche imprégnée de bitume d'épaisseur également variable et ne dépassant pas en général une vingtaine de mètres.

La réserve en place sur une superficie de 420 km² peut être estimée à 3 milliards de Tonnes de grès bitumineux de Bemolanga.

VI. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET LOCALISATION DU GISEMENT

VI.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE [1]

Le gisement de grès bitumineux de Bemolanga, à l'extrême sud du bloc d'exploration 3102, se situe dans le district de Morafenobe, à 350 km environ à l'Ouest – Nord-Ouest d'Antananarivo et à 150 km de la côte occidentale de Madagascar (figures 7 et 8).

Sa position géographique est de :

- Latitude Sud entre 17°37' et 17°52'
- Longitude Est entre 45° et 45°16'

Et en coordonnées Laborde :

- X entre 240 et 280
- Y entre 910 et 940

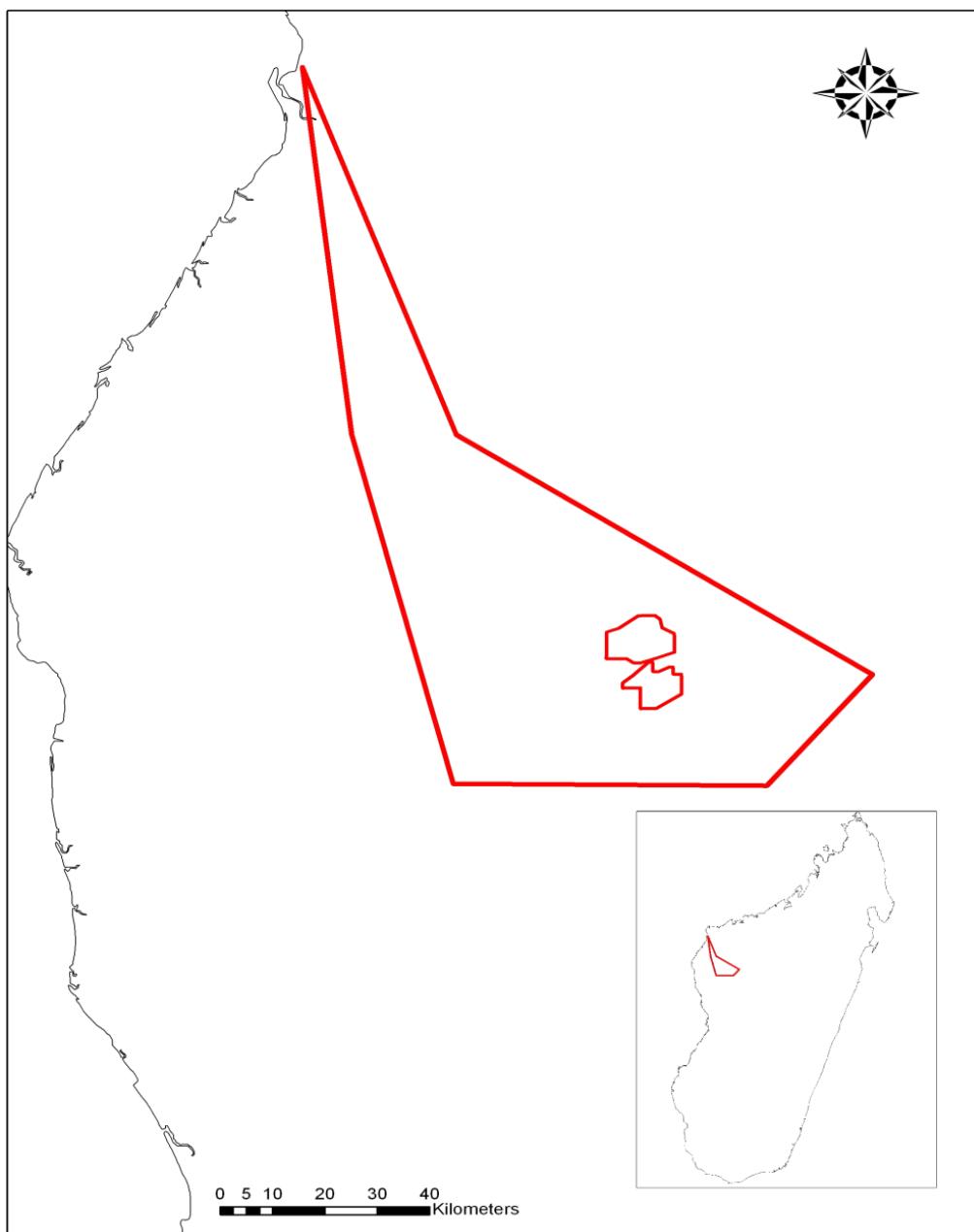


Figure 8 : Carte de localisation du Bloc 3102 et des secteurs d'étude de Bemolanga

Source : **TOTAL E&P**

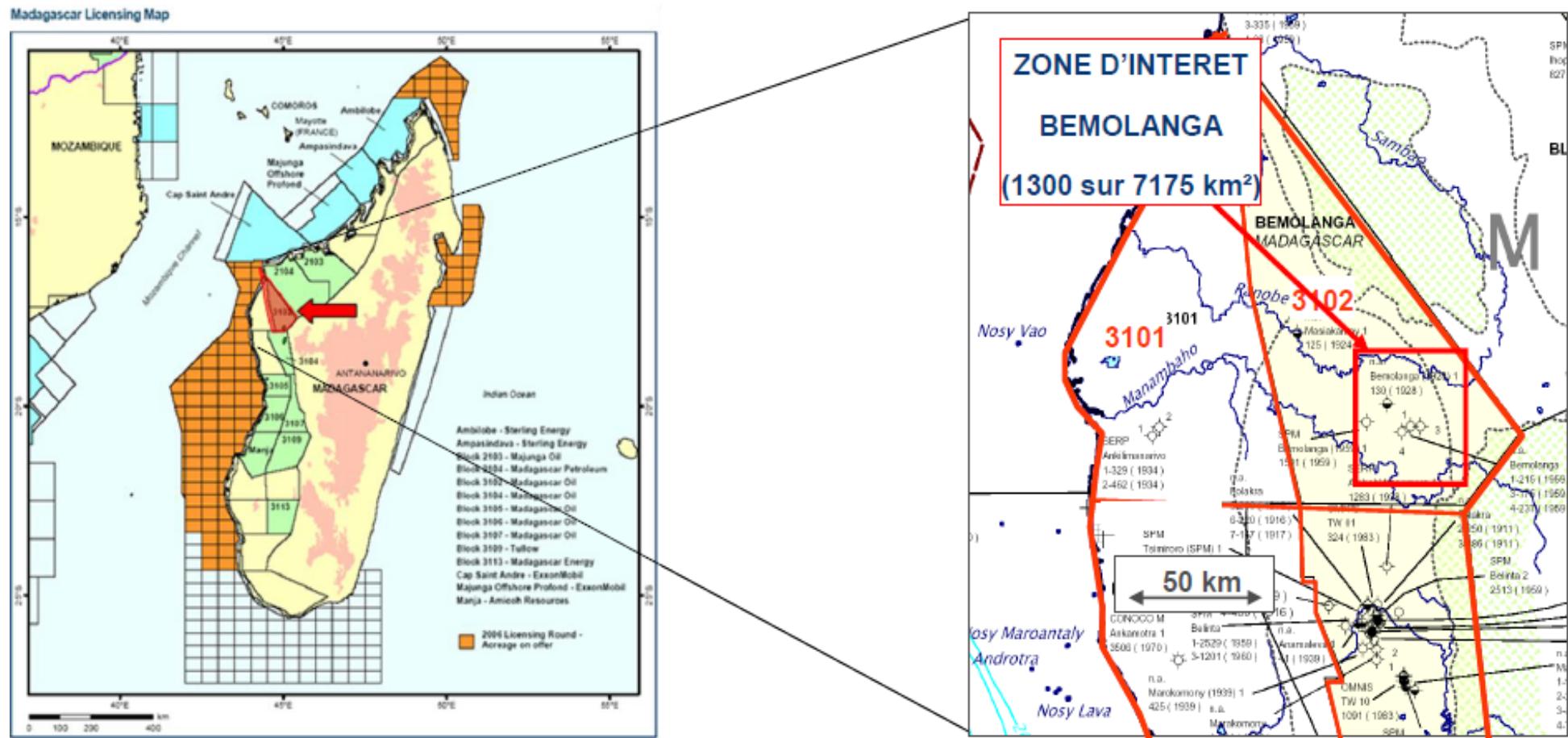


Figure 9 : Carte de localisation du Bloc 3102 et de la zone d'intérêt de Bemolanga

Source : TOTAL(E&P)

VI.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONALE DE BEMOLANGA

Le gisement de grès bitumineux de Bemolanga se trouve à l'extrême Nord du bassin sédimentaire de Morondava.

La zone d'étude est située dans le bassin versant du fleuve Manambaho. Elle est entourée par :

- Les massifs annulaires magmatiques de Berevo et Fonjay au Nord et à l'Ouest,
- Le plateau de Bongolava à l'Est,
- La partie septentrionale du graben (dépression permotriassique) de Morafenobe au Sud,
- Le plateau cristallin d'Andolobe au Sud-est,
- Le Massif migmatitique et gneissique de Bekodoka au Nord.

VI.3. METHODE D'EXPLOITATION [10], [11], [12], [13]

Le pétrole de Bemolanga est une exploration pétrolière qui présente la particularité d'être aussi un projet minier. En effet, il s'agit d'une réserve de grès bitumineux qui s'exploiterait en carrière. Total a racheté en 2008 60% des parts de Madagascar Oil.

Total utilise les techniques de récupération consistant soit à injecter dans les gisements des solvants miscibles (dioxyde de carbone CO₂) ou des tensioactifs, soit à apporter de la chaleur au gisement pour diminuer la viscosité de l'huile par injection de vapeur ou par combustion partielle in situ, il s'agit d'un chauffage avant pompage.

En tant que grès bitumineux, il est très difficile de les exploiter. Ils appartiennent à la catégorie des hydrocarbures destinés à la récupération in situ. Ils doivent être suffisamment fluides pour être extraits du réservoir. C'est pourquoi, les diverses sociétés ne sont pas encore arrivées au stade de l'exploitation. Elles cherchent toujours des moyens pour les extraire. Il y avait une méthode, c'était l'injection de gasoil dans le réservoir. Mais, cette méthode n'est pas rentable pour les caractérisations de l'huile. De plus, le gasoil coûte cher.

Une autre méthode a été trouvée aussi, elle consiste à injecter de la vapeur d'eau dans les puits de forage avec un steamer pour rendre le bitume moins visqueux.

Cette étape nécessite l'utilisation de beaucoup de vapeurs en raison de la profondeur de l'huile qui est environ de 250 mètres. La vapeur est injectée dans le puits, elle va permettre de déterminer si le gisement est économique et de définir les techniques appropriées à appliquer.

Pour le cas de Bemolanga, ce gisement a en fait existé depuis fort longtemps et l'équipement qui sert à introduire de la vapeur d'eau y est déjà implanté, d'où l'exploitation en essai.

Pour le générateur de vapeur, une grande quantité d'eau est indispensable, soit 620 mètres cube par jour. Néanmoins, des études sont menées pour limiter au minimum la consommation d'eau. L'eau constitue donc une ressource indispensable pour mener à terme le projet pilote de Bemolanga. Une fois les essais de pompage sont effectués, les puits seront systématiquement bouchés avec du ciment thermique pour éviter les infiltrations qui risquent de détériorer la qualité de l'huile.

CHAPITRE 2. PRESENTATION DE L'OMNIS

I. HISTORIQUE : LES TRAVAUX DE L'OMNIS

L'OMNIS (Office Militaire Nationale pour les Industries Stratégiques) a été créé en 1976 par ordonnance n° 76-007. C'est un organisme de l'Etat (Sui Generis) rattaché à la Présidence de la République, avant d'être modifié en Etablissement Public à caractère Administratif suivant la loi n° 99-033 en 1999 et changeant la dénomination en : Office des Mines Nationales et des Industries stratégiques.

Naturellement, Madagascar a une vocation minière par l'abondance des ressources du sous-sol, susceptibles d'être mises en valeur. L'Etat Malagasy a créé l'OMNIS en vue de promouvoir le développement économique et social de la nation par l'impulsion donnée aux recherches et exploitations minières.

Tout au long de son existence, L'OMNIS a effectué ou fait effectuer des études et des recherches sur les ressources naturelles du pays, surtout celles du sous-sol. Les recherches ont été orientées vers les études pétrolières à l'instar du pétrole conventionnel, du grès bitumineux de Bemolanga, de l'huile de Tsimiroro, les études de l'uranium et du charbon de terre.

II. MISSIONS DE L'OMNIS

- Mettre en œuvre la politique nationale en matière d'exploration et d'exploitation pétrolière et uranifère ;
- Valoriser les données géologiques de base ;
- Favoriser le partenariat avec les compagnies pétrolières et minières étrangères en :
 - Créeant un environnement incitatif et compétitif pour investisseurs étrangers (Assistance administrative lors de l'installation) ;
 - Mettant systématiquement à jour les données d'exploration afin de faciliter les prospections.

Par son nouveau statut, les missions confiées à l'OMNIS concernent principalement les domaines ci-après :

Dans le domaine minier :

L'OMNIS est chargé de la valorisation des données géologiques de base et d'assurer la fonction de bureau de promotion minière.

Dans le domaine des hydrocarbures :

L'OMNIS est chargé de la mise en œuvre de la politique nationale en matière de recherche et d'exploitation d'hydrocarbures c'est-à-dire :

- ⊕ Entreprendre des travaux de recherche pour :
 - Monter et développer les données techniques de base requises pour les activités d'exploration ;
 - Initier des compagnes de promotion de nos bassins sédimentaires ;
 - Assurer le suivi et la supervision des activités des compagnies partenaires.
- ⊕ Dans le domaine des Mines
 - Engager des partenariats avec des sociétés minières en matière de substances uranifères à des fins énergétiques ;
 - Offrir des services d'assistance pour les recherches minières (mise à disposition des techniciens, travaux de forage, analyses de laboratoire).

III. ORGANIGRAMME STRUCTUREL DE L'OMNIS

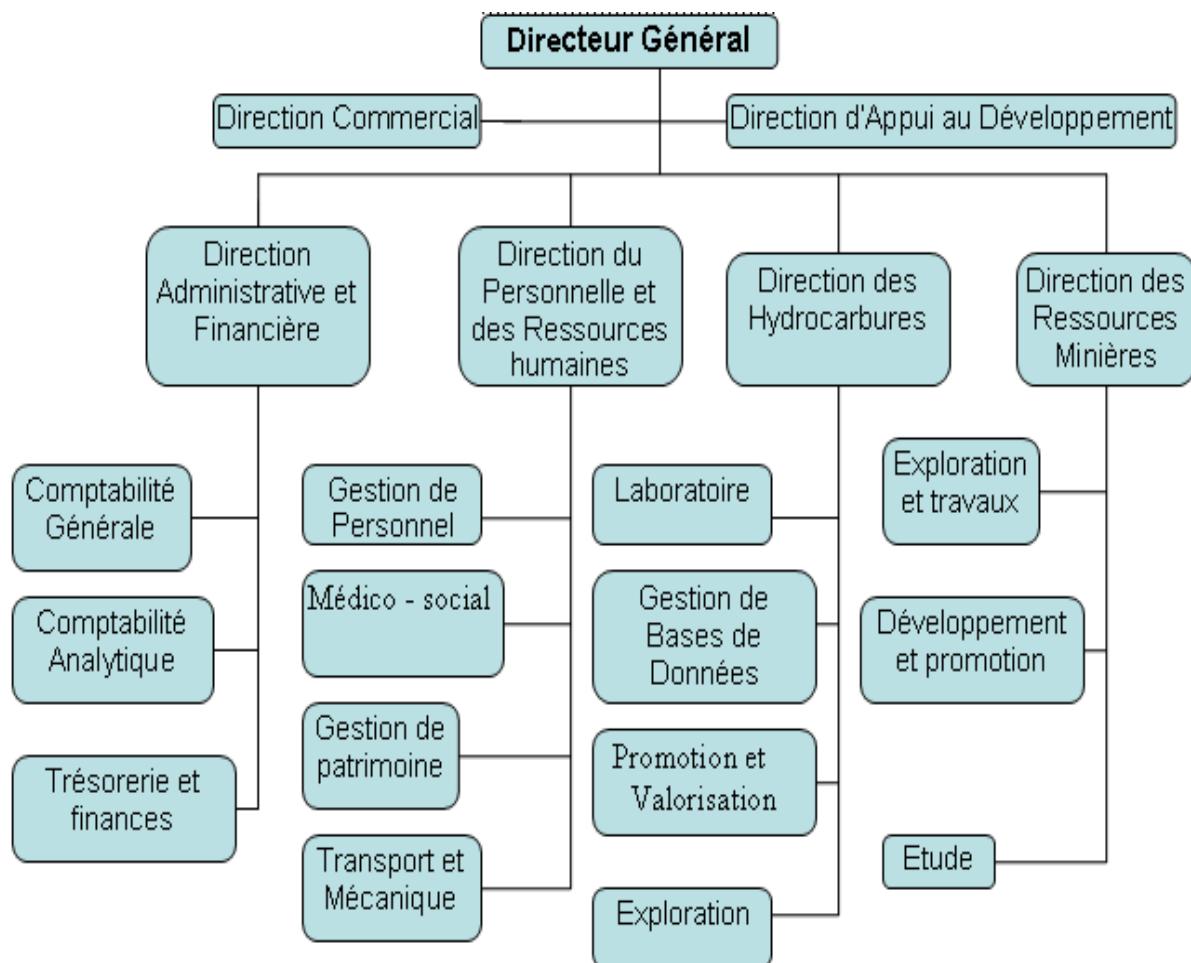


Figure 10 : Organigramme structurel de l'OMNIS

Source : DPRH OMNIS

Comme l'indique l'organigramme ci-dessus, la direction des Hydrocarbures est constituée de quatre départements :

- le département du laboratoire
- le département de promotion et de valorisation
- le département d'exploration
- le département de gestion de base de données

A l'heure actuelle, plusieurs compagnies étrangères travaillent en partenariat avec l'OMNIS dans le domaine pétrolier ; ce dernier est chargé de la gestion et du contrôle des activités de ses partenaires.

IV. DEPARTEMENT DU LABORATOIRE [28]

Le département du laboratoire à l'OMNIS s'occupe principalement :

- De l'appui à l'exploration pétrolière
- De l'appui analytique et technique aux sociétés industrielles et aux chercheurs scientifiques
- L'assistance technique aux opérateurs miniers

Des prestations avec des techniques innovantes, compétitives et fiables pour le développement du secteur Mines et Hydrocarbures :

➤ ***MINES***

- Préparation des échantillons (concassage, broyage, pulvérisation)
- Analyse chimique minérale (gravimétrie, volumétrie, colorimétrie)
- Analyse par ICP-MS pour les éléments à faible teneur
- Caractérisation physico-chimique (densité, PH, humidité, teneur en cendres,...)
- Analyse minéralogique (par comptage des grains)
- Etudes de valorisation des minerais (par voies physique et chimique)

➤ ***HYDROCARBURES***

- Evaluation des roches-mères
- Extraction des huiles (Soxhlet, Dean Stark)
- Analyses physico-chimiques et caractérisation : roches, produits pétroliers, huiles, produits carbonés (TBN, TAN, densité, viscosité, point d'éclair, résidu Conradson, teneur en eau-cendre - sédiment, chromatographie)
- Préparation pour études stratigraphiques et sédimentologiques :
- Extraction de foraminifère' spores et pollen, dinoflagellés, montage sur lame mince, nannofossiles calcaires.

➤ ***AUTRES***

- Extraction et caractérisation d'huiles essentielles
- Analyse de l'eau (détermination des impuretés élémentaires)

CHAPITRE 3. LES TRAVAUX EFFECTUES SUR LE GRES

I. DEFINITION

Un sable bitumineux ou bitumeux (à ne pas confondre avec les schistes bitumineux) est un mélange de bitume brut, de sable, d'eau et d'argile. La quantité de pétrole à extraire dépend de l'épaisseur du bitume.

Les sables bitumineux sont composés ainsi :

- 3 à 5% d'eau ;
- 7 à 12% de bitume ;
- 80 à 85% de matières minérales (silice et argile).

II. TYPES D'EXTRACTION

Après extraction et transformation des sables bitumineux, on obtient le bitume, un mélange d'hydrocarbures sous forme solide ou se présentant comme un liquide dense, épais et visqueux. Les gisements de sable bitumineux représentent une importante source de pétrole brut de synthèse appelé « non conventionnelle ». Deux régions dans le monde possèdent la majorité des sables bitumineux : le Canada et le Venezuela.



Photo 1 : Exploitation des sables bitumineux de la mine de Syncrude

Source : Canada, © 2011

II.1. L'EXTRACTION DES SABLES BITUMINEUX DE CANADA ET DE VENEZUELA [20], [21]

II.1.1. PAR EXTRACTION MINIERE DITE « A CIEL OUVERT »

- ⊕ **1^{ère} étape : l'extraction des sables :** Les sables bitumineux se trouvent en profondeur dans les terres. Avant de les extraire, il faut retirer la végétation puis le terrain mort (surface ne contenant aucune matière utile). On y retire le lit de calcaire puis on accède à des mines à ciel ouvert d'une épaisseur allant de 40 à 60 mètres dont on extrait les sables bitumineux. Cette opération est effectuée à l'aide de camions de 365 tonnes et des grues dont les pelletées pèsent près de 100 tonnes. Le sable est ensuite transporté aux usines d'extraction du bitume.
- ⊕ **2^{ème} étape : l'extraction du bitume :** Le seul procédé industriel est l'extraction à l'eau chaude. Il consiste à placer le sable bitumineux dans des centrifugeuses (tambours rotatifs) et à le mélanger avec de l'eau chaude. Le bitume se sépare du sable et se lie aux bulles d'air créant ainsi une forme de mousse contenant 65% de pétrole, 25% d'eau et 10% de solides.
 - le bitume flotte à la surface, ce qui permet de le récupérer avec un pourcentage de 88 à 95% ;
 - la mousse est envoyée vers des unités de traitement pour réduire la teneur en eau et en déchets solides du bitume avant son passage en unité de valorisation. Pour cela, la mousse est associée à des diluants (agents solvants de naphta ou de paraffine) afin de réduire sa viscosité, et elle est chauffée ;
 - la couche intermédiaire, constituée d'un mélange d'eau, de petites particules de bitumes et quelques minéraux, dits « mixtes » est recyclée dans le processus d'extraction ;
 - les résidus de sables déposés au fond sont pompés vers une décharge et utilisés dans la construction.

II.1.2. PAR EXTRACTION IN SITU OU THERMIQUE

L'extraction in situ permet de récupérer du bitume à des profondeurs supérieures à 100 mètres. Aujourd'hui, cette technique est utilisée à hauteur de 12% des exploitations de bitume et d'années en années, cette proportion augmentera. En effet, l'extraction minière est difficilement rentable à ces profondeurs. Il existe deux procédés permettant l'extraction in situ :

- **Le procédé CSS (Cyclic Steam Simulation)** : Il consiste à utiliser un même puits alternativement en injection de vapeur et extraction de bitume. La vapeur liquéfie le bitume et rend le pompage possible. Cette technique permet un taux de récupération de 20-25% du bitume.
- **La technologie SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage)** : Prévue pour entrer en production début 2015, cette technologie utilise un système de puits parallèles. De la vapeur d'eau chaude est injectée dans le premier puits permettant la séparation du sable et du bitume. Un mélange d'eau et de bitume remonte par l'autre puits. Ainsi le pétrole peut être extrait et l'eau recyclée. Cette technologie permettrait probablement de porter le taux de récupération à 40% du bitume.

II.2. PROCEDE A MADAGASCAR

Des « Bruts synthétiques » proviennent du grès bitumineux on peut extraire des produits tels l'essence, le gas-oil, le kérosène, le coke, le bitume routier, etc.

Nous allons voir quelques procédés de fabrication de ces produits.

II.2.1. ESSAI DE SEPARATION BITUME-GRES [22]

L'OMNIS avait pris en charge le projet Bemolanga depuis les années 76. Trois (3) méthodes pour la séparation bitume-grès ont été proposées. Ces trois méthodes sont :

- Procédé de lavage à l'eau chaude
- Procédé thermique
- Procédé d'extraction au solvant

A. *PROCEDE DE LAVAGE A L'EAU CHAUDE [23]*

Dans les années 60, des essais de lavage à l'eau chaude sur les grès bitumineux de Bemolanga avaient été entrepris au laboratoire S.P.M. à Tuléar.

a. *Broyage*

- Si le broyage n'est pas complet, le bitume reste collé au sable, il est alors éliminé avec le rejet.
- Si le broyage est excessif, le bitume est dispersé dans le courant de mixte et il n'est pas possible de le récupérer par flottation.

b. *Décapage du sable - Malaxage*

Le grès sera admis dans un malaxeur, avec une faible quantité d'eau maintenue à 80°C, pendant 15 minutes. A la sortie de cet appareil, nous devons disposer d'une pulpe où dans laquelle le bitume et sable sont dissociés.

c. *Le mixer*

Cet appareil devait réaliser une dispersion de la pulpe fournie par le malaxeur grâce à une agitation mécanique rapide accompagnée d'une dilution.

d. *Appareil de lavage*

- Principe de la séparation bitume-fines-sable :

Cette séparation doit conduire à l'élimination de la plus grande partie des sables avec la minimum perte de bitume.

- Choix d'un appareil de lavage :

Trois appareils ont été essayés à Bemolanga : le lavodune, le cône de débordement et le cyclone.

e. **Décanteur – Concentration des fines**

L'écume qui se forme à la surface de l'eau dans l'appareil de lavage passe par un trop plein dans un décanteur à grande eau (80°C) dans lequel les matières minérales se déposent ou forment une suspension. Par ailleurs, le sable lavé doit pouvoir être soutiré par le fond de la cuve à séparation et recyclé par pompage, afin d'améliorer le rendement final.

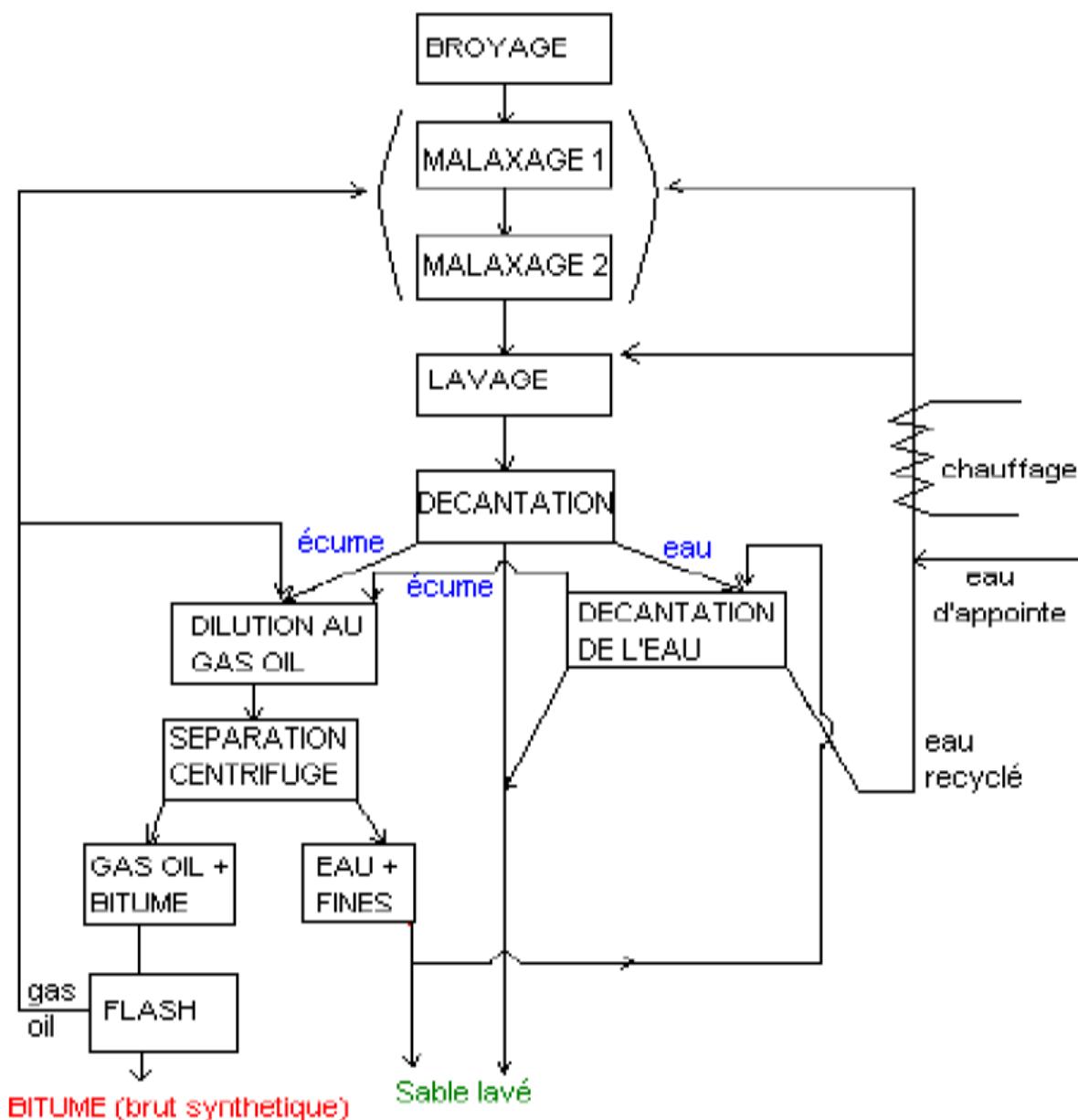


Figure 11 : Procédé d'extraction

f. Description technique d'une usine de séparation (1966) [24]

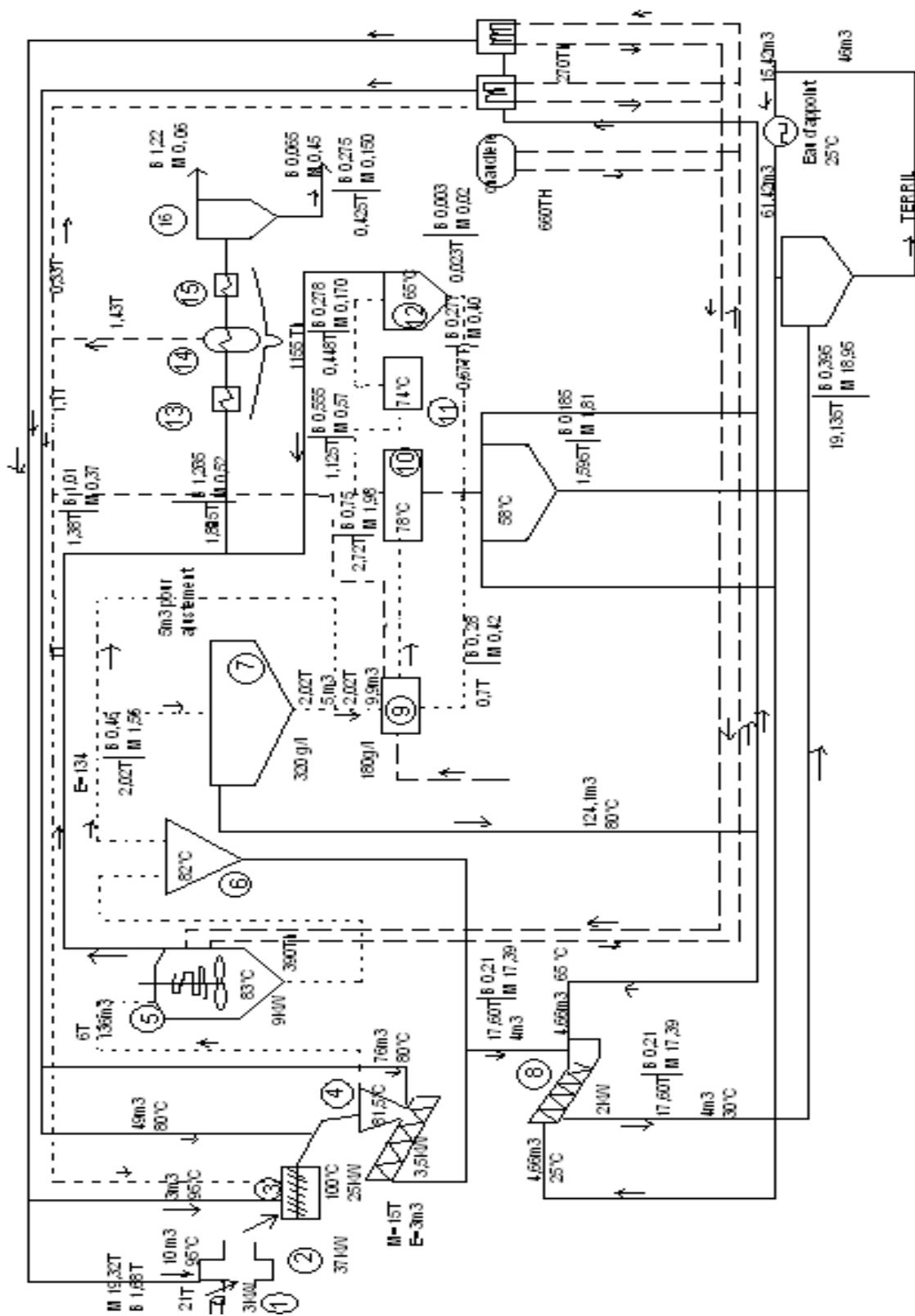


Figure 12 : Usine de traitement

Les grès arrivent de la carrière en morceaux de 0-300 mm, qui après passage dans **un concasseur à cylindres et un crible (1)**, fournissent des morceaux réduits à 0-50 mm. Le traitement s'effectue en trois étapes :

➤ **Séparation primaire :**

Elle a pour but d'éliminer dès le départ la plus grande partie des matières minérales, soit 88% environ, et d'obtenir d'une part un écume riche en bitume qui ira directement à la purification, et d'autre part, des fines d'une teneur en bitume de 27% environ, qui seront traitées par flottation dans l'unité de séparation secondaire.

- **Broyeur (2)**

Le broyeur à barres travaille en phase humide par ajout d'environ 45% d'eau à 95°C par rapport au poids de grès entrant. C'est un gros consommateur d'énergie.

- **Malaxeurs (3)**

Le broyeur alimente des malaxeurs où s'effectue une addition complémentaire d'eau à 95°C, de façon à atteindre une teneur en eau égale à 60% du poids du grès.

- **Cônes de lavage (4)**

La pulpe sortant des malaxeurs reçoit un apport massif d'eau chaude à 80°C, puis, ainsi très diluée, alimente 2 cônes de lavage fonctionnant en parallèle.

- **Séparateur (5)**

Les mélanges bitumes + fines sortant des cônes de lavage sont introduites à la partie supérieure d'un séparateur. Un serpentin de réchauffage permet de maintenir une température moyenne de 83°C qui est favorable à la séparation du bitume et des fines.

Conditionnement des fines :

L'eau et les sables fins évacués par siphon à la partie inférieure du séparateur sont envoyés dans un dessableur conique (6). Les sables sont éliminées ; les fines proprement dites, riches en bitume, sont évacuées à la surface du dessableur, et partent vers un épaisseur (7) qui constitue l'étape préparatoire de la flottation.

- **Une vis échangeuse** (8) est destinée à la récupération d'environ 2/3 des calories contenues dans l'eau et le sable évacués à la sous-verse des cônes. L'eau froide d'appoint est introduite directement en tête de la vis, permettant un échange parfait par mélange avec le sable et son eau interstitielle.

➤ **Séparation secondaire**

Flottation des fines pour l'obtention d'une écume riche en bitume et d'une pulpe à rejeter. En masse, elle représente 10% des grès entrés.

Les fines arrivant de l'unité de séparation primaire sont envoyées **au conditionneur** (9) où la pulpe est réchauffée par injection de vapeur et diluée jusqu'à une concentration de 150g/l par de l'eau chaude à 80°C.

La pulpe ainsi préparée va ensuite **aux cellules de flottation primaire** (10) où le temps de séjour est de 10 mn. On ajoute du gas-oil comme collecteur et agent moussant.

On obtient :

- un pré-concentré,
- un rejet à 7% de bitume.

Le pré-concentré passe aux cellules de flottation secondaire (11) (temps de séjour:5mn). On obtient deux produits :

- un concentré
- et un mixte, titrant 44% de bitume, recyclé vers le conditionneur.

Les concentrés sont envoyés à un épaississeur (12) qui assure la décantation partielle des matières minérales et donne :

- A la base, un mixte à 14% de bitume qui est renvoyé en tête du conditionneur,
- A la surface, au centre, des mousses titrant 64% de bitume,
- A la surface, sur le pourtour, la sortie des eaux de débordement.

Les mousses rejoignent l'écume de la séparation primaire pour aller à la purification de bitume.

- Purification de bitume

Elle a pour but :

- d'abaisser la teneur en eau à moins de 1%,
- d'abaisser la teneur en matières minérales à moins de 5%.

L'écume brut est réchauffée à 160°C environ dans un four (13), puis est renvoyé dans un ballon (14) pouvant fonctionner sous une pression de 3 Kg/cm². La vapeur d'eau se dégage et il se produit un moussage du bitume qui conduit à dimensionner largement le ballon.

L'écume déshydratée est réchauffée à 300°C dans un second four (15) et passe alors dans un décanteur (16) où elle séjourne 15 minutes environ.

Cette décantation permet d'abaisser la teneur en matières minérales à moins de 5%.

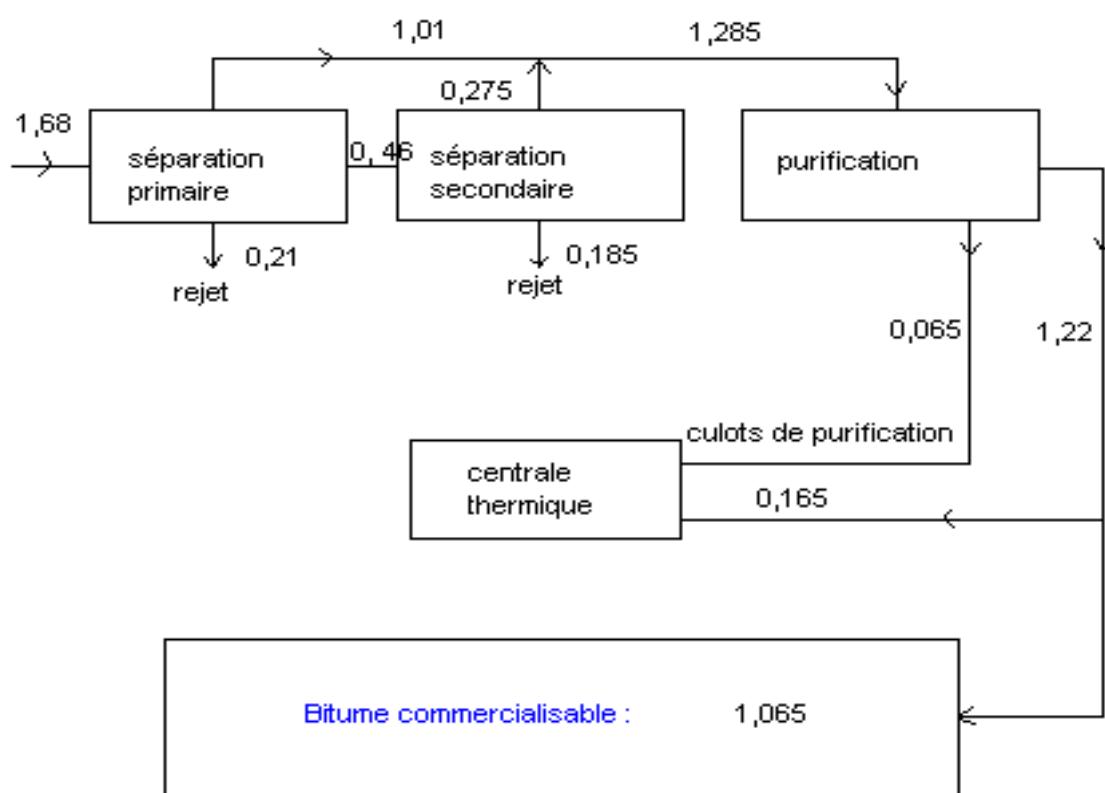


Figure 13 : Bilan de circuit de bitume (Débit en Tonne/heure de bitume)

On conclut que la méthode de lavage à l'eau chaude peut récupérer les 80% du bitume qui se trouve dans le grès.

B. PROCÉDES THERMIQUES [25]

a. Procédé LURGI RUHRGAS (LR)

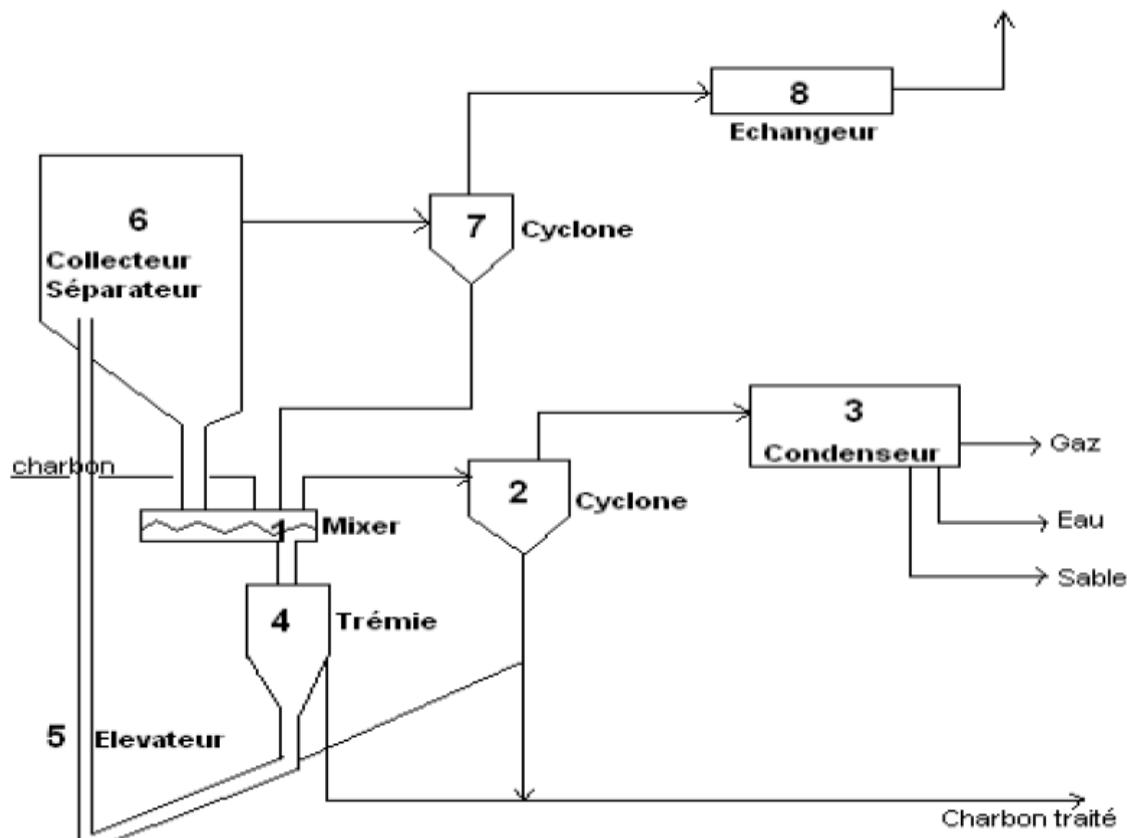


Figure 14 : Diagramme simplifié de procédé L.R.

Le procédé LR est un 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 principe du procédé est le suivant :

- Le sable bitumineux arrive avec les grains épuisés, préalablement chauffés dans **le mixer** (1).
- Les gaz et vapeurs obtenus du mixer passent successivement au dépoussiérage dans **le cyclone préchauffé** (2) et **au condenseur** (3). On obtient successivement de l'huile lourde et de l'huile moyenne.
- Les grains épuisés en circulation et ceux fraîchement introduits tombent dans **la trémie** (4) qui joue un rôle de tampon dans les fluctuations du taux de grains fins carbonisés en circulation dans le système.

- Un phénomène de dégazéification peut avoir lieu.
- Toute la masse de sable avec du carbone résiduel coulent vers **le conduit d'élévation**(5) où le gaz de combustion produits par une combustion partielle de ces derniers avec l'air chaud injecté à ce niveau, les entraînent dans **le collecteur-séparateur** (6).
- Les gaz sont dirigés vers **le cyclone** (7) pour dépoussiérage et dans **un échangeur** (8) pour la récupération de la chaleur résiduelle.
- Les grains fins rejoignent **le mixer** (1) pour achever le cyclone.

Ce procédé trouve son application à l'échelle industrielle dans plusieurs pays (Allemagne, Japon ...) sur le charbon, les schistes, les lignites, etc.

b. Unité pilote à ESSEN RFA (5 tonnes/jour en 1981) [25]

Cinquante-cinq tonnes d'échantillon ont été envoyés à ESSEN RFA pour des tests pilotes. Les essais ont été réalisés dans le cadre d'une étude de préfaisabilité basée sur une capacité de 10.000 t grès/j.

Les résultats essentiels sont les suivants :

- Température de traitement : 500°C
- Granulométrie inférieure à 8 mm
- Produits principaux obtenus :
 - Huile lourde + huile inférieure : $d = 0,942$
 - Naphta
 - Gaz : oléfinique
 - $S = 0,42\%$
 - $N = 0,37\%$ Rendement en produit liquide
 - 78% par rapport aux produits extractibles
 - 107% par rapport aux analyses Fischer
- Les produits liquides venant de l'unité L.R. passent par deux étapes d'hydrogénéation avant l'obtention des produits finis dans le gas-oil et l'essence sont les plus importants.

L'utilisation de ce second procédé nous emmène à la récupération d'environ 90% du bitume qui se trouve dans le grès.

C. PROCEDE D'EXTRACTION AU SOLVANT [25]

C'est un procédé d'extraction de bitume ou Procédé RTR des sables bitumineux au moyen d'un solvant (kérosène).

a. *Description du procédé*

Le procédé peut être divisé en quatre sections :

- Extraction au solvant
- Traitement des solides
- Traitement de l'extrait
- Traitement de l'eau

➤ Extraction au solvant :

Les grès concassés sont alimentés à la digestion où ils sont mélangés avec de la vapeur d'eau, du kérosène et du recyclage de l'extrait.

Le malaxage lent se fait dans le digesteur du type à tambour tournant. L'introduction de la vapeur d'eau et de l'eau recyclée facilite la séparation en trois phases :

- Sable humide
- Phase hétérogène
- Extrait : bitume + kérosène

La séparation est faite au niveau de dessableur. Les différentes phases sont traitées séparément.

➤ Traitement des solides

Les solides sont alimentés au contacteur. Ils sont lavés à contre-courant. L'eau de lavage qui contient en partie des hydrocarbures et des fins est recyclée vers l'installation de séparation. Les solides d'autre part, sont acheminés vers le lieu de déchargement.

➤ **Traitement de l'extrait**

L'extrait est lavé à l'eau chaude et à contre-courant dans le contacteur RTR (laveur d'extrait) pour être séparé de l'excédent d'eau et de solide.

L'extrait lavé est ensuite envoyé à la phase de récupération de solvant. L'eau de lavage est recyclée comme auparavant.

➤ **Traitement de l'eau**

L'eau est traitée dans un épaississeur où les solides sont floculés. L'eau clarifiée est recyclée et les solides résiduels sont éliminés.

b. Unité pilote (Terni)

3.500 kg d'échantillons ont été utilisées pour étudier les divers séquençs du procédé sur une unité pilote de 1 T/j à Terni (Italie). Ces études sont la suite des résultats concluants au niveau laboratoire. L'orientation des études consiste à vérifier les données de base collectées au cours des travaux sur les sables d'ATHABASCA (CANADA) sur une unité pilote de 1.000 b/j.

D'autres essais de grande envergure se préparent actuellement avec 60 tonnes d'échantillons, dans le cadre d'une étude de facilité pour une unité 15.000 b/j de produits finis et dans les résultats finaux seront remis à la fin de l'année 1981.

Comme beaucoup de travaux sont en cours sur ce projet, nous éviterons ici les commentaires des résultats.

Seules les données de base vous sont présentées :

- Dimension du grès broyé : 2 mm
- Température de traitement : 70°C
- Rapport en poids bitume/solvant = 2
- Rapport en poids : extrait/grès bitumineux = 0,4
- Rapport eau/solide = 1
- pH = 8-9
- perte en kérosène : 2%
- taux de récupération de bitume : 95%

Les essais pilotes se déroulent jusqu'à présent sans problèmes et le passage à deux modules de 7.500 b/j se trouve dans une certitude raisonnable.

Les produits finis escomptés se répartissent de la manière suivante :

- gaz : 500 b/j
- naphta : 2.000 b/j
- kérosène : 2.000 b/j
- gas-oil : 4.000 b/j
- fuel oil : 6.500 b/j

Ce troisième procédé est le meilleur qu'il nous faut car son rendement de récupération peut s'élever jusqu'à 95% quelque soit le solvant qu'on utilise pour l'extraction.



PARTIE.2: ETUDES EXPERIMENTALES

CHAPITRE 1. CARACTERISTIQUES DU GRES BITUMINEUX DE BEMOLANGA

I. ASPECT PHYSIQUE DU GRES [30]

Le grès bitumineux, à l'état brut, est un solide noir, sans éclat, opaque et dur. Il est plus ou moins poreux.



Photo 2 : Grès bitumineux

II. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DU GRES BITUMINEUX [30]

Tableau 2 : Caractéristiques physique du grès

Teneur moyenne en bitume (%poids)	7,5
Teneur moyenne en eau (%poids)	1,63
Saturation en bitume (% volume)	79,60
Saturation en bitume (% volume)	20,40
Porosité (% volume)	26,70
Densité des grains (kg/m ³)	2600

Tableau 3 : Analyse minéralogique par rayon X

Quartz	58,4
Feldspath	28,0
Kaolinite	9,1
Chlorite	2,8
Montmorillonite	1,7

III. CARACTERISTIQUE DU BITUME DE BEMOLANGA

a. COMPOSITION CHIMIQUE DU BITUME EXTRAIT (%POIDS)

Tableau 4 : Composition chimique du bitume extrait

Carbone	87,10
Hydrogène	11,18
Azote	0,11
Oxygène	1,10
Soufre	0,51

b. CARACTERISTIQUE PHYSICO-CHIMIQUE DU BITUME DE BEMOLANGA

Tableau 5: Caractéristique physico-chimique du bitume de Bemolanga

Poids moléculaire apparente	690
Densité relative	0,992
% volumique à 520	53,68
Point de ramollissement	+36°C
Viscosité(Cs) 70°C	9,735
Viscosité(Cs) 100°C	1,038
PC _{sup} (kcal/kg)	10,210
PC _{inf} (kcal/kg)	9,645

c. **CONSTITUTION GEOCHIMIQUE DU BITUME DE BEMOLANGA [31]**

Le bitume de Bemolanga est constitué de :

- 27% d'asphaltènes
- 28% de résines
- 45% d'huiles

d. **PROPRIETES RHEOLOGIQUES DES BITUMES EXTRAITS [31]**

Tableau 5: Propriétés rhéologiques des bitumes extraits

N° Géochimie	3266	3267
Echantillon	Sable bitumeux de Bemolanga	Bitume libre de Bemolanga
Densité 20/20	0,982	0,988
Point de ramollissement Bille et anneau	38°9	42°5
Viscosité en poisie à 77°25	160	318
à 85°3	87	113
Penetration		
25° 100g 5s	247	164
25° 50g 5s	199	132
25° 0g 5s	131	91

CHAPITRE 2. ANALYSE DE GRES BITUMINEUX DE BEMOLANGA

Les analyses ont été effectuées au département laboratoire de l'OMNIS et de laboratoire de l'ESPA pour déterminer les caractéristiques du grès bitumineux provenant de la carrière DRIEZ à Bemolanga.

Toutes les précautions ont été prises pour obtenir des échantillons représentatifs.

I. TENEUR EN BITUME

L'appareil SOXHLET sert à déterminer la teneur en bitume du grès.

5 essais ont été effectués pour la détermination de la teneur en bitume. Des analyses sur les résidus ont été également entreprises.

I.1. MATERIEL ET APPAREILLAGE

- Carte géologique de BEMOLANGA
- Marteau
- Balance de précision (de marque soviétique OHAUS)
- Quarter
- Appareil SOXHLET
- ROTAVAPOR
- Etuve

I.2. SOLVANT

Tétrachloroéthylène (TCE) : Degré de pureté de solvant TCE technique

I.3. METHODOLOGIE

a. *Préparation de l'échantillon :*



Photo 3: préparation de l'échantillon

- Echantillon : Carrière DRIEZ
- Détermination du poids initial de l'échantillon en utilisant la balance OHAUS.
- Poids initial : 1000grammes
- Concassage en utilisant concasseur (2,5mn maximum)



Photo 4 : Concasseur

- Quartage à l'aide d'un quarter



Photo 5: Quarter Jones

b. Extraction à l'appareil SOXHLET :

C'est une unité d'extraction par solvant du bitume de l'échantillon. L'appareil est muni d'un chauffage, de réfrigérant et de verrerie (photo 6).

Pour les cinq essais, nous avons choisi les conditions suivantes :

 **Solvant :**

- TCE 650 ml pour l'essai n°1 et n°2
- TCE 600 ml pour les trois autres essais

 **Echantillon : carrière DRIEZ**

- n°1 : 100 g
- n°2 : 150 g
- n°3 : 200 g
- n°4 : 250 g
- n°5 : 300g



Photo 6: Extraction au SOXHLET

c. ROTAVAPOR

Cet appareil sert à séparer le solvant et le bitume. La température d'ébullition (Teb) du solvant TCE est de 60°C.



Photo 7: ROTAVAPOR

d. Etuvage

L'étuve sert à enlever le reste du solvant TCE que le ROTAVAPOR n'a pas pu enlever.

e. RESULTATS DES EXTRACTIONS

Tableau 6 : Résultat de l'extraction SOXHLET

N°	Poids cartouche	Poids échantillon	Poids cartouche + échantillon	Poids résidu après étuvage	Poids flacon	Poids bitume+ Après étuvage	Poids bitume après étuvage	Teneur en bitume (%)
1	12g	100g	112g	90g	47g	57g	10g	10,0%
2	15g	150g	165g	135g	44g	59g	15g	10,0%
3	10g	200g	210g	179g	45g	66g	21g	10,5%
4	17g	250g	267g	230g	46g	66g	20g	8,0%
5	15g	300g	315g	277g	45g	68g	23g	7,6%

$$\text{Teneurbitume} = \frac{\text{Poids échantillon} - \text{Poids résidu après étuvage}}{\text{Poid échantillon}} \times 100$$

La teneur moyenne de la carrière DRIEZ est alors :

$$\text{Teneur moyenne} = \frac{\sum \text{teneur bitume}}{n}$$

$$\frac{10.0 + 10.0 + 10.5 + 8.0 + 7.6}{5} = 9,22\%$$

II. ANALYSE DE RESIDU

II.1. ETUDE GRANULOMETRIQUE

a. *Tamisage*



Photo 8 : Tamiseur

- Type : résidu lavé
- Poids échantillon à tamiser : 200 g

Tableau 7: Résultat du tamisage

Ouverture des tamis d [mm]	<0,063	0,063	0,125	0,250	0,400	0,500	1,250
Retenue[g]	7.2610	11.9034	24.5476	68.1025	88.1855	0	0
Retenue [%]	3.63	5.95	12.27	34.05	44.10	0	0
Passant cumulé [%]	0	3.63	9.58	21.85	55.90	100	100

b. *Système graphique adoptée [32]*

- Ordonné l'échelle linéaire qui varie de 0 à 100% (pourcentage en volume absolu des passant cumulé au tamis d)
- Abscisse : échelle proportionnelle à : **Module =31 + 10 log d**
(d : ouverture des tamis)

Tableau 8: Calcul des modules

Ouverture des tamis [mm]	0,063	0,125	0,250	0,400	0,500	1 ,250
Module=31+10log d	18,99	21,97	24 ,98	27,02	27,99	31,97

c. **Courbe granulométrique**

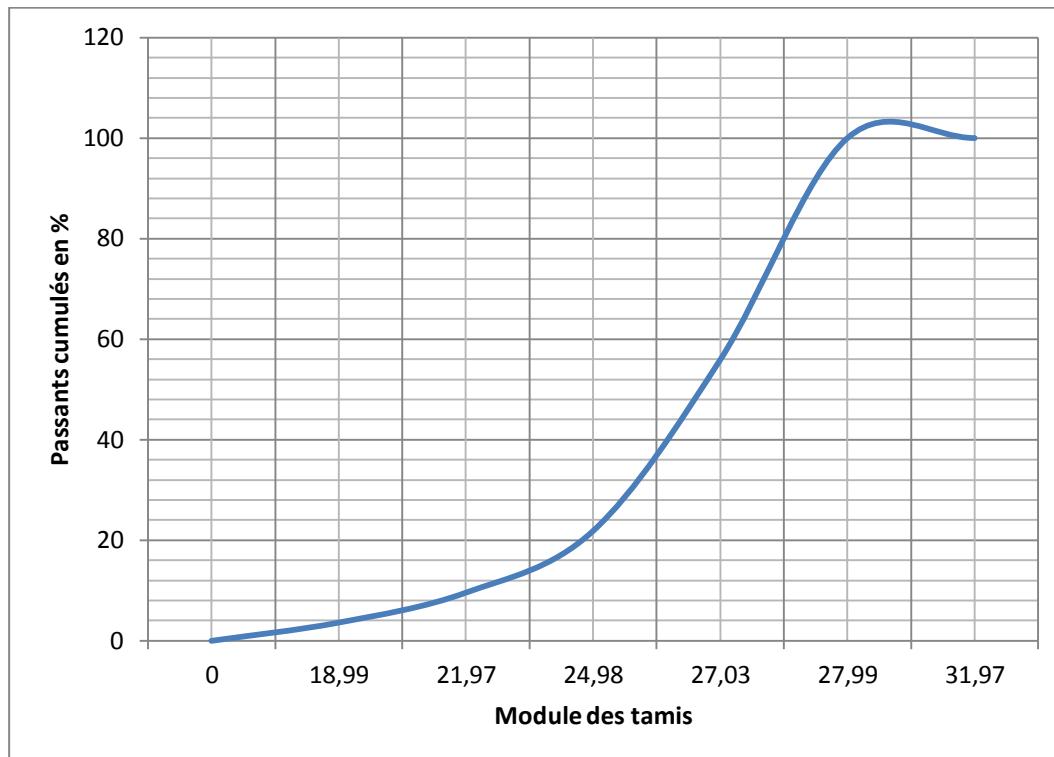


Figure 15 : Courbe granulométrique

II.2. RESIDU CARBONE CONRADSON

a. *Détermination du résidu Conradson :*

→ Définition :

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 les produits lourds.

→ Importance :

Le résidu Conradson nous renseigne sur la tendance d'un produit de pétrole formé de coke lors d'un traitement.

→ Résidu Conradson

Détermination de la teneur en résidu de carbone après évaporation, donne une indication de la qualité du coke.

b. *Mode opératoire :*

- Tare le creuset Conradson
- Peser 10g d'échantillon dans le creuset Conradson avec une précision de \pm 0.005g
- Placer le creuset Conradson au centre du creuset Skidmore et introduire ce système dans le creuset en acier
- Chauffer le creuset pendant environ 10 minutes
- Quand la fumée sort de la cheminée, déplacer le brûleur sur les cotes. Toutes les vapeurs brûlent pendant environ 13 minutes
- Quand les vapeurs cessent de brûler à la chaleur maximale et on chauffe au rouge le creuset pendant 7 minutes. L'opération dure environ 30 minutes
- Enlever les couvercles après un temps de refroidissement de 15minutes
- Retirer le creuset Conradson et le placer dans le dessicateur
- Après refroidissement, on pèse le creuset Conradson et on détermine le résidu en carbone

c. Résultat analytique

- Pesage avant la cuisson :
 - Creuset : 86.017g
 - Creuset + échantillon : 136.0493g
- Échantillon : 50.0323g



Photo 9 : Appareil Conradson

- Le creuset et l'échantillon sont ensuite placés dans un dessiccateur pour refroidir.



Photo 10 : Dessiccateur

- Pesage après refroidissement au dessiccateur :
 - Creuset : 86.017g
 - Creuset + résidu Conradson : 135.9098g
 - Résidu Conradson : 49.8928g

d. Calcul :

$$\% \text{résidu Conradson} = \frac{\text{masse résidu Conradson}}{\text{masse échantillon}} \times 100$$

:

$$\% \text{résidu Conradson} = \frac{49.8928}{50} \times 100 = 99.79\%$$

II.3. TENEUR EN CENDRE

Les cendres sont considérées comme des impuretés ou des contaminants. Après avoir déterminé le résidu Conradson, on passe à la deuxième cuisson qui dure presque 3 heures pour déterminer la teneur en cendre. On a obtenu le résultat suivant :

Les cendres sont obtenus par chauffage progressif de l'échantillon de la température ambiante à 850°C et ceci pendant 3 heures

a. Mode opération :

- Peser un opératoire
- Peser un creuset vide : p1
- Peser 1g d'échantillon dans le creuset : p2
- Mettre dans le four chauffé à la température ambiante à 850°C pendant 3h
- Placer dans le dessiccateur
- Peser

b. Résultat analytique :

- Expression du résultat $C = (P3 - P1) \times 100$
- Masse échantillon : 1g
- Nombre d'essai : 2

Tableau 9: teneur en cendre

	Creuset1	Creuset2	Creuset3
Poids creuset vide (g)	30.2285	27.6984	30.6557
Poids creuset +ech (g)	32.2213	28.6982	30.6557
Poids creuset +échantillon sorti four (g)	31.0998	28.5738	30.5310
Teneur en cendre	0.8748	0.8754	0.8802

III. RESULTAT ANALYSE COMPLETE : ECHANTILLON BEMOLANGA CARRIERE DRIEZ

Tableau 10: Analyse chimique du résidu minéral

Pourcentage éléments %	Grés bitumineux	Résidu minérale
SiO ₂	71.29	82.69
MOH	12.74	7.03
Al ₂ O ₃	10.24	3.84
Fe ₂ O ₃	2.24	3.04
TiO ₂	0.26	0.12
CaO	4.98	3.78
MgO	12.48	7.24

Tableau 11 : Dosage de la silice

Echantillon	Poids creuset vide (g)	Poids creuset +échantillon	Poids SiO ₂	% Silice
Bm 1	31.0574	31.1183	0.325	65
Bm 2	29.9680	30.0345	0.3879	77.58
Résidu 1	30.3635	30.7671	0.4065	81.30
Résidu 2	18.6012	19.0194	0.4204	84.08

Tableau 12 : Somme des hydroxydes

Echantillon	Poids creuset vide (g)	Poids creuset +échantillon	Poids SiO ₂	%
Bm 1	31.0574	31.1183	0.0609	12.18
Bm 2	29.9680	30.0345	0.0665	13.90
Résidu 1	30.3635	30.3879	0.0244	4.88
Résidu 2	18.6012	18.6471	0.0459	9.18

Tableau 13 : Dosage de Fe_2O_3 /Dosage par complexométrie à l'aide de l'EDTA

	Bm1	Bm 2	Résidu 1	Résidu 2
V _{EDTA} (ml)	1	0.4	1	0.9
% Fe_2O_3	3.2	1.28	3.2	2.88

Tableau 14 : Dosage TiO_2 /Dosage colorimétrique par TiO_2

	Bm1	Bm 2	Résidu 1	Résidu 2
V _{EDTA} (ml)	0.5	0.8	0.2	0.4
% TiO_2	0.2	1.28	0.008	0.16

Tableau 15 : Dosage de CaO / Dosage par $KMnO_4$

	Bm1	Bm 2	Résidu 1	Résidu 2
V _{EDTA} (ml)	9	8.8	7	6.5
% CaO	5.04	4.92	3.92	3.64

Tableau 16 : Dosage MgO

Echantillons	Poids creuset vide (g)	Poids creuset+ech (g)	Poids MgO	%
Bm1	25.6241	25.6712	0.0471	9.42
Bm2	24.2841	24.3618	0.0777	15.54
Résidu1	26.0514	26.0887	0.0373	7.46
Résidu2	22.4742	22.8093	0.0351	7.02

IV. ANALYSE MINERALOGIQUE

Type d'échantillon : Grés bitumineux

Provenance : Bemolanga

Appareillage : microscope polarisant (Annexe 13)

Référence de l'échantillon : Résidu 1

Tableau 17 : analyse minéralogique résidu 1

Minéraux	Fraction	Résidu
Poids en g		
Quartz	85%	
Hydroxyde de fer	5%	
Grenat	Trace	
Schlamm	10%	

Référence de l'échantillon : Résidu 2 (7%)

Tableau 18 : analyse minéralogique résidu 2

Minéraux	Fraction	Résidu
Poids en g		
Quartz	85%	
Hydroxyde de fer	8%	
Grenat	1%	
Graphite	Trace	
Schlamm	9%	

Tels sont les essais pratiques que nous avons effectués au laboratoire de l'OMNIS et de l'ESPA.



PARTIE.3: PERSPECTIVES ET IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT

CHAPITRE 1. POSSIBILITE DE VALORISATION DU GRES BITUMINEUX

I. GENERALITE

I.1. FABRICATION DE PETROLE [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [47]

Vers la fin des 18 siècles les premiers européens arrivèrent dans le nord de l'Alberta, ils découvrirent que les autochtones qui y vivaient utilisaient le bitume des sables bitumineux mélangé de la gomme des arbres pour assurer l'étanchéité de leurs canots. Au début du 20 siècle on utilisait les sables bitumineux comme matériau de pavage expérimental; la route reliant la station CN de Jasper au pavillon du parc de Jasper a déjà été recouverte de sables bitumineux. De nos jours, le pétrole provenant de l'exploitation des sables bitumineux fournit environ la moitié des besoins quotidiens en pétrole du Canada.

Au cours des années 1920, on a découvert qu'on pouvait extraire efficacement le bitume des sables bitumineux en traitant ces sables avec de l'eau très chaude. On pouvait alors transformer le bitume extrait et en faire du pétrole brut de synthèse en lui ajoutant de l'hydrogène (hydrogénéation) ou en lui enlevant de son excédent de carbone (cokéfaction). La première exploitation commerciale importante d'extraction et de valorisation des sables bitumineux a vu le jour au cours des années 1960 et 1970 ;

Au Canada, il existe déjà l'extraction des hydrocarbures des sables bitumineux profonds de l'Alberta. Ces gisements ont été exploités depuis longtemps et leur extraction se fait soit par pompage, soit par injection d'eau chaude.

- Ce sont les champs de Joslyn et de Northern Lights en partenariat avec le champ de Surmont.
- Les gisements les plus proches de la surface peuvent être exploités par mine à ciel ouvert. Mais cette voie n'est plus opérante quand les gisements sont

plus profonds. Des méthodes dites thermiques, doivent alors être appliquées pour permettre de faire remonter par des puits jusqu'à la surface, les bitumes fluidifiés par d'énormes quantités de vapeur injectée dans les réservoirs.

Développé par étapes, par injection et par extraction thermique, le champ de Surmont produit actuellement 27 000 barils par jour, verra sa production portée à 100 000 barils par jours dans une seconde phase, pour atteindre 400 000 barils par jour à terme.

Au Venezuela, les huiles lourdes sont extraites par injection de solvants, ensuite

- Les hydrocarbures lourds seront séparés ultérieurement.
- Les gigantesques réserves de bruts extra-lourds de la ceinture de l'Orénoque, au Venezuela sont exploitées par Petro Cedeño (anciennement Total-Sincor) depuis les années 90.
- Bien que très visqueux, les hydrocarbures de ce gisement, plus chaud que les réservoirs canadiens, sont suffisamment mobiles pour être pompés par de longs puits horizontaux.
- L'injection d'un diluant dans les puits permet d'atteindre des productivités satisfaisantes et a porté les volumes de production à quelque 200 000 barils par jour.
- Ces productions de bruts passeront ensuite sur des raffineries industrielles pour être transformées en bitume industriel ou en brut synthétique léger. Cette opération s'effectue par une gigantesque unité de conversion, dite « upgrader », qui est un véritable concentré de technologies et d'investissement.

Donc c'est déjà transformé en bitume industriel ou en brut synthétique léger que l'on utilise ces productions dans le monde entier.

Comme au Canada et de même au Venezuela, les travaux effectués sont donc l'extraction de ces huiles lourdes brutes pour obtenir des bitumes industriels en vue de l'utilisation en revêtement routier.

Mais à ma connaissance et à mon avis, aucun travail scientifique ne fait mention de l'utilisation directe des huiles lourdes brutes dans le revêtement routier.

I.2. LA TRANSFORMATION DU BITUME EN PETROLE [41] [42] [43] [44]

Deux méthodes sont possibles pour rendre le bitume commercialisable :

- le mélanger avec environ 30% d'hydrocarbures légers. Cette pratique est toutefois freinée par le coût du diluant : Le Canada pourrait potentiellement être en pénurie de condensats (pétrole léger formé par des hydrocarbures gazeux condensés après refroidissement) s'il voulait traiter des millions de barils/jour de bitume de cette façon ;
- surcharger le bitume en carbone puis l'hydrogénier pour obtenir un mélange d'hydrocarbures proche d'un pétrole brut de bonne qualité.

II. UTILISATION DIRECTE DES GRES BITUMINEUX EN HYDROCARBURE [45]

La transformation des grés bitumeux en produits pétroliers peut se faire par coking, hydrocracking ou distillation, mais nous n'allons voir qu'un seul procédé.

II.1. DELAYED COKING (COKEFACTION RALENTIE) [45]

a. *Application*

Utilisé pour prolonger les conditions de coking de telle façon que les rendements en gas-oil et en essence, soient accrus.

Produit initial : bruts réduits, résidu de distillation atmosphérique, huiles lourdes et bruts synthétiques. Produits fournis : gas-oil, essence, gaz et coke

b. *Description*

- La charge est chauffée et envoyée à la partie basse de la colonne de fractionnement. Là, la charge rencontre les vapeurs à haute température issues des Tours à coke, et les produits volatils sont expulsés du brut.

- Les résidus lourds sont acheminés du bas de la colonne de fractionnement à un four dans lequel ils sont portés à la température de cracking, puis ces résidus sont introduits dans une Tour calorifiée dans laquelle le temps de séjour est suffisant pour la formation du coke, et son dépôt.
- Les vapeurs issues de la Tour à coke retournent à la colonne de distillation. Là, le gasoil, l'essence et le gaz sont séparés et sortent de la colonne. Les produits plus lourds se condensent dans les fonds et sont recyclés pour une nouvelle opération de coking.
- Quand le coke atteint un niveau déterminé dans la Tour à coke, le circuit est détourné par une autre Tour à coke, de telle sorte que le fonctionnement du four soit continu. Ainsi les Tours à coke fonctionnent par paire, l'une étant en circuit pendant le refroidissement et la vidange de l'autre.
- Une Tour à coke pleine est mise hors circuit de coking, chauffée à la vapeur pour chasser les hydrocarbures légers du coke déposé, et refroidie par injection d'eau. Les Tours conçues le plus récemment emploient des jets à très haute pression (plus de 70kg/cm² au-dessus de la pression atmosphérique) pour détacher le coke de parois de la Tour.

c. Condition de fonctionnement

La zone normale de conditions de fonctionnement pour laquelle les unités de coking, ont été conçues, est la suivantes :

- Température de sortie du Four.....: 480 à 505°C
- Température dans la Tour à coke.....: 415 à 450°C
- Pression dans la Tour à coke.....: 0,7 à 5 kg/cm² au-dessus de l'atmosphérique.

d. Rendement

Il y a des différences sensibles dans la répartition des produits fournis par l'installation, selon que de l'essence doit être produite seulement pendant l'opération de coking, ou également pendant l'opération ultérieur de cracking du gas-oil de coking. Les rendements en essence peuvent varier de 5 à 25% en volume, de la charge de l'unité de coking.

e. Installation industrielle

Aux Etats-Unis et au CANADA, il existe une capacité globale de traitement de coking d'environ 80.000 m³/jour de brut. Ceci correspond à une production approximative 16.000 tonnes de coke par jour.

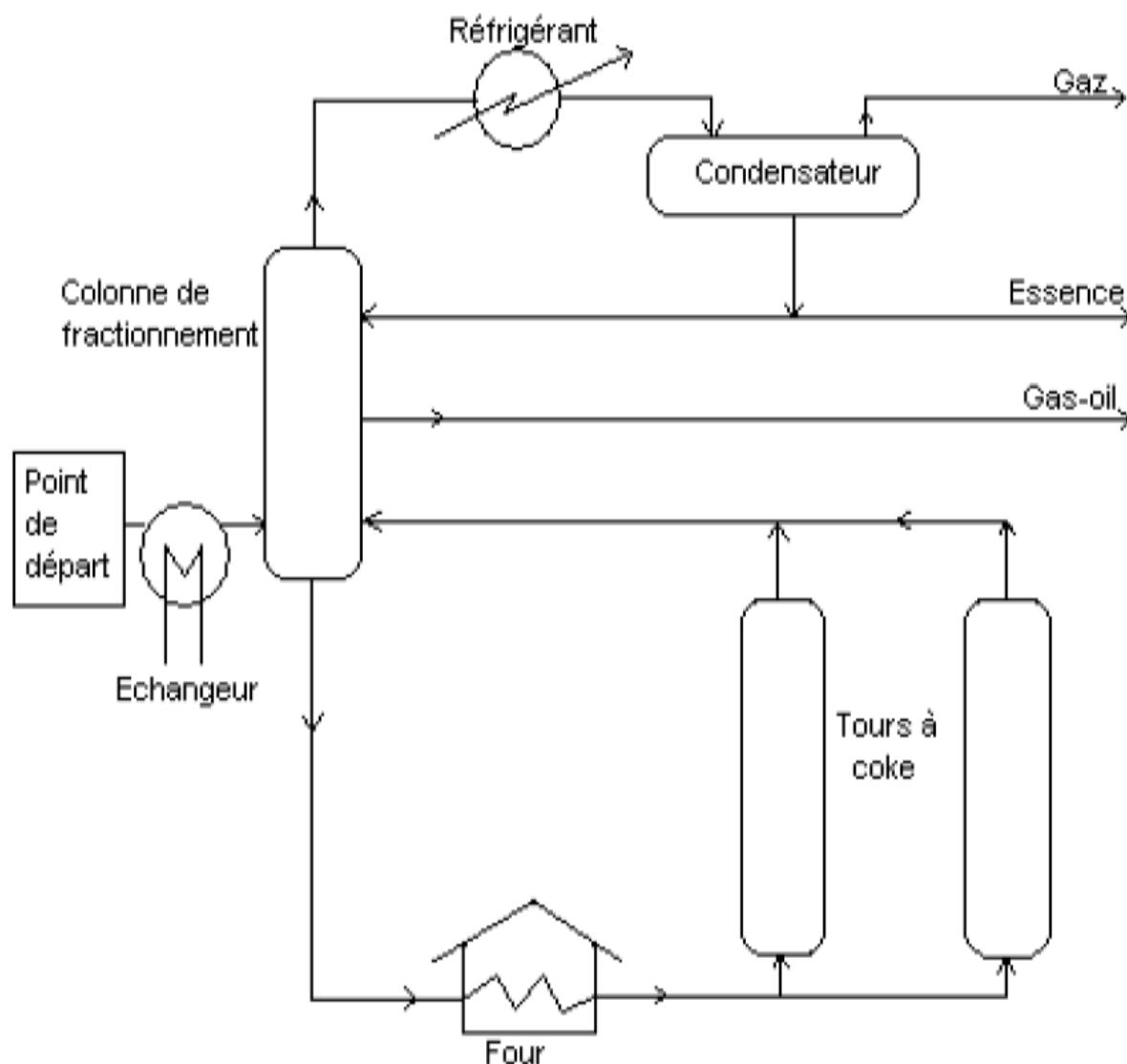


Figure 16 : Principe de « Delayed coking »

II.2. SCHEMA DE FABRICATION (DECEMBRE 1960) [46]

Ce schéma de fabrication envisagé fait intervenir un « reforming catalytique » d'une partie de l'essence de coking, et permet ainsi la fabrication d'essence ordinaire et du supercarburant répondant l'un et l'autre aux spécifications françaises.

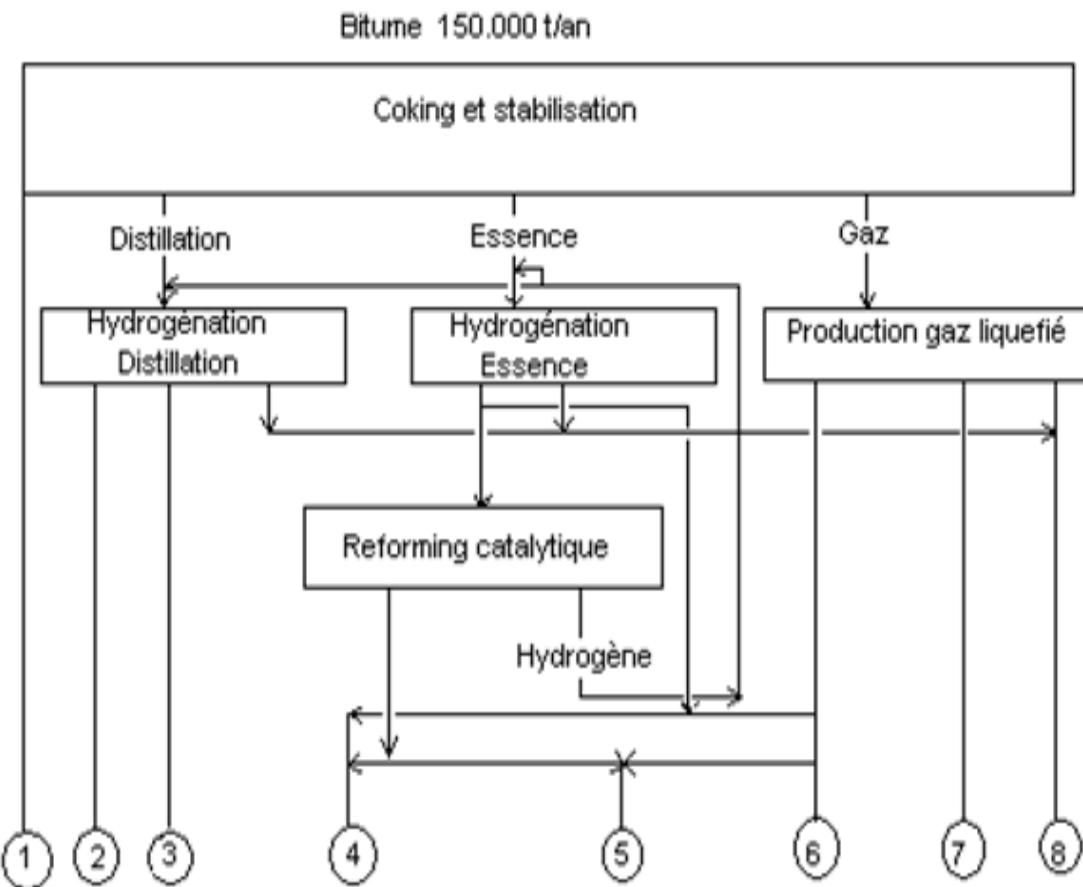


Figure 17 : Schéma de fabrication

Résultats

1-coke	48.900 t /an
2-Gas-oil.....	20.500t/an
3-Pétrole lampant.....	9.500t/an
4-Essence ordinaire.....	26.100t/an
5-Supercarburant.....	9.500t/an
6-Butane.....	3.100t/an
7-Propane.....	6.600t/an
8-Fuel-gaz.....	25.700t/an

Ainsi, on sait quels sont les produits que les grès bitumineux de Bemolanga peuvent fournir.

III. UTILISATION DU BITUME EN LIANT HYDROCARBONE [26]

III.1. ORIGINE DES BITUMES

Les bitumes sont des produits solides ou semi-solides représentant les résidus du raffinage de pétrole brut.

Les bitumes se trouvent à l'état naturel sont les résultats d'un gisement pétrolier qui s'est échappé et piégé soit dans des minerais (grès, sable, schiste)

D'énormes gisements se trouvent un peu partout dans le monde :

- au VENEZUELA
- aux USA (Schistes d'Utah)
- au Canada (sable d'Athabasca)
- à Madagascar (Bemolanga et Tsimiroro)

III.2. DEFINITION [26]

Le bitume est un produit thermoplastique de couleur noire dont la viscosité varie avec la température, le bitume est solide à température ambiante. Porté à une température supérieure à 120°C, il devient pompable et utilisé.

III.3. PROCEDE DE FABRICATION

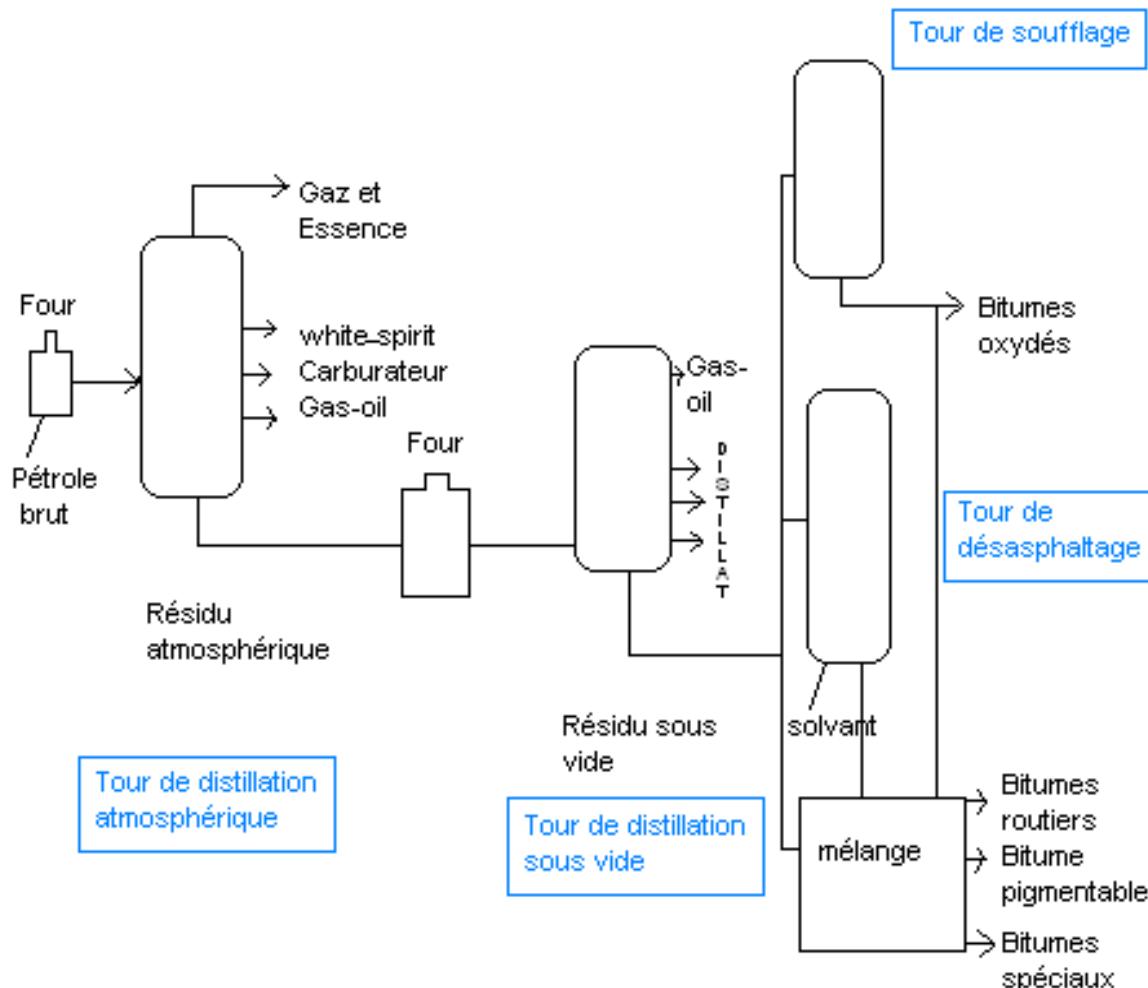


Figure 18 : Procédé de fabrication

Les pétroles bruts sont des produits naturels résultant de la décomposition lente d'organismes marins. Les bitumes sont issus du traitement en raffinerie de pétroles bruts sélectionnés. Ils sont obtenus par mélange des fractions les plus lourdes (bases bitumes) résultant de l'opération de distillation.

III.4. STRUCTURE COLLOÏDALE DES BITUMES [26]

Selon NELLENSTEIN, le bitume est un système colloïdal dans lequel les micelles sont des particules de carbone entourées d'une couche d'asphaltènes adsorbés. La dispersion est assurée par les résines qui joueraient le rôle de péptisant.

III.5. DIAGRAMME TERNNAIRE DE REPRESENTATION DES BITUMES [26]

Avec ses trois composants : constituants huileux, asphaltènes et résines, on peut représenter les bitumes dans un diagramme.

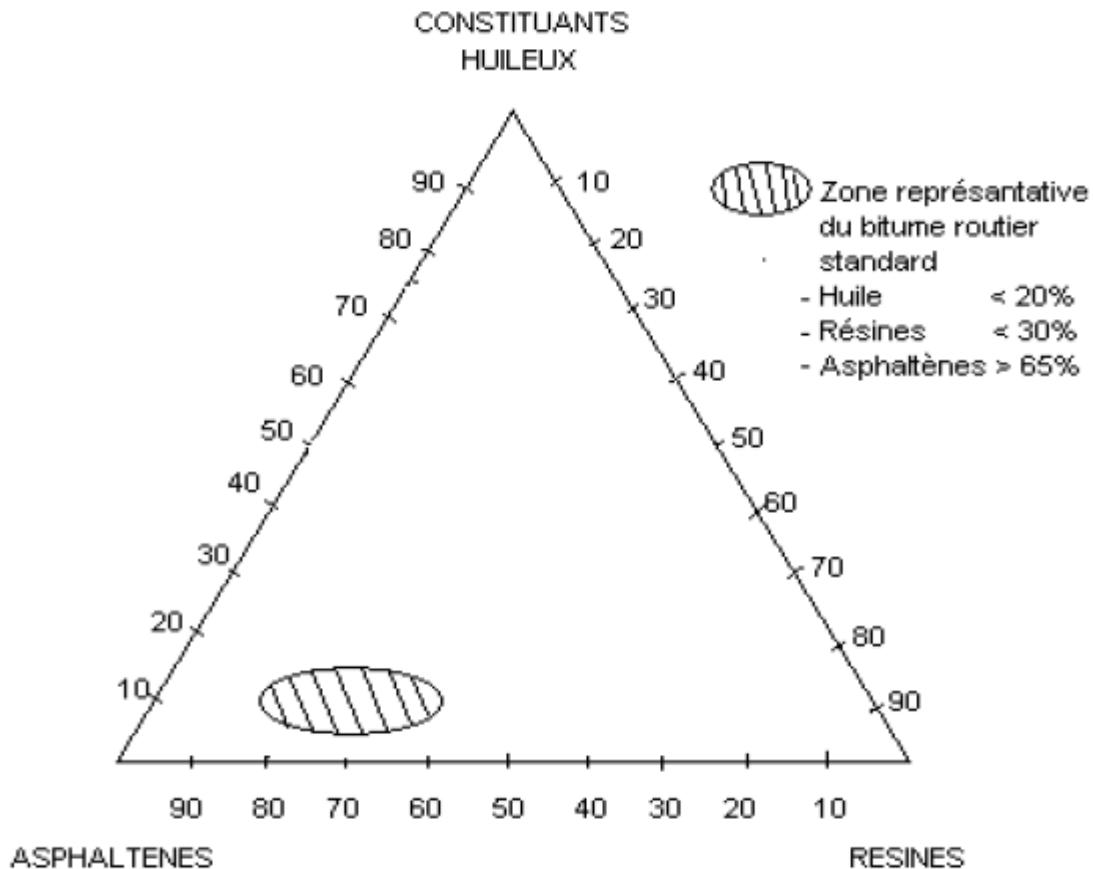


Figure 19 : Diagramme ternaire de représentation des bitumes

Zone représentative du bitume routier standard :

- Huile <20%
- Résines <30%
- Asphaltènes>65%

Il est possible de définir l'indice d'instabilité colloïdale par la formule :

$$Ic = \frac{\text{Asphaltène} + \text{Floculant}}{\text{Péptisant}}$$

IV. BITUME ROUTIER [26]

Tous les bitumes routiers possèdent en plus d'un caractère tensioactif anionique (Effet anionique dû aux composés acides, attirer négative), connu depuis très longtemps, un caractère tensioactif cationique (Effet cationique dû aux composés basiques aminés, attirer positive).

IV.1. PROPRIETES DES BITUMES

- L'importance particulière est donnée à ces composés tensioactifs cationiques en ce qui concerne le mouillage d'un corps solide minéral en présence d'eau.
- Activité interraciale des bitumes en présence des phases aqueuses.
- Les bitumes ont des tensions superficielles entre 26 et 39 mN.m^{-1} .
- On pourrait considérer les bitumes comme un mélange d'hydrocarbures peu polaire par leur tension superficielle.
- La tension interfaciale entre bitumes et phase aqueuses ne dépendrait alors que de très peu de pH des phases aqueuses.
- Des composés polaires, même présents en quantité infimes dans une solution, peuvent s'adsorber préférentiellement à l'interface. C'est le cas des composés organiques ayant une longue chaîne hydrocarbonée. Ceci peut conduire à un très fort abaissement de tension interfaciale

REMARQUE :

L'étude de l'activité interfaciale des bitumes nous permet de formuler les remarques suivantes:

- Le comportement des anioniques est comparable à celui d'un mélange d'acide gras.

Mais des bitumes considérés comme non-acides ont un effet tensioactif anionique non négligeable.

- L'activité interfaciale des bitumes, aussi bien que celle de leurs asphaltènes, est toujours inférieure vis-à-vis des phases aqueuses acides et basiques.

Cette différence est due à une différence de concentration au sein du bitume des tensioactifs anioniques et cationiques, qu'à une différence de leurs propriétés d'adsorption à l'interface.

- La composition chimique des bitumes est compatible avec cette remarque précédente et conduit à considérer les composés anioniques comme des acides carboxyliques, et les composés cationiques comme les bases aminées.
- On peut extraire des bitumes les composés anionique et cationique par des méthodes chimiques et physiques et les analyser d'une manière précise pour leurs propriétés physico-chimiques

IV.2. MOUILLAGE-ADHESION

Dans la construction routière, le bitume joue le rôle de liant dans un matériau composite. Une contrainte appliquée à un matériau composite peut provoquer deux sortes de rupture :

- Cohésive, c'est-à-dire au sein du matériau de plus faible cohésion : en général le liant.
- Adhésive, c'est-à-dire à l'interface entre liant et solide.

IV.2.1. MOUILLAGE

Si le mouillage du matériau solide par le liant est bon, le travail fourni pour une rupture interfaciale sera supérieur à celui à fournir pour une rupture cohésive, et la rupture aura lieu au sein du matériau le moins cohésif.

Dans les conditions d'équilibre, l'angle de raccordement entre la surface du liquide et celle du solide (angle de contact) est fonction de l'énergie de surface σ_s du solide, de la tension superficielle σ_l du liquide et de la tension interfaciale σ_{sl} entre liquide et solide.

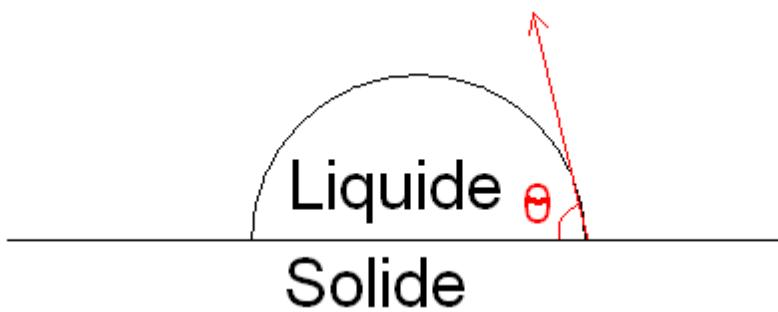


Figure 20 : Goutte de liquide déposée sur un support solide

Equation d'Young:

$$\sigma_s \cdot \sigma_{SL} = \sigma_L \cos \theta \quad (1)$$

Cette relation est valable dans le cas d'une surface plane et homogène ; dans le cas d'un solide rugueux, WENZEL a introduit :

- r = facteur de rugosité
- θ' = angle de contact apparent

$$r = \cos \theta' / \cos \theta \quad (2)$$

Equation de ZISMAN :

Tous les liquides ayant une tension superficielle inférieure à la tension critique de mouillage ($\sigma_L < \sigma_C$) s'étaleront complètement sur le solide, sinon (si $\sigma_C < \sigma_L$) les liquides ne mouilleront pas complètement le solide et l'angle de contact est fonction de la tension superficielle avec l'équation de ZISMAN :

$$\cos \theta = a - b \sigma_L \quad (3)$$

Equation de DUPRE :

Par définition le travail de cohésion pour un liquide donnée est de :

$$W_{cohésion} = 2\sigma_L (4)$$

C'est le travail nécessaire pour provoquer la rupture au sein d'un liquide.

Le travail d'adhésion pour deux corps 1 et 2 en contact est :

$$W_{adhésion} = \sigma_1 + \sigma_2 - \sigma_{12} (5)$$

C'est le travail nécessaire pour créer une nouvelle surface de chacun des deux corps, et faire disparaître une surface de contact entre les deux corps.

Dans le cas d'une interface solide-liquide on aboutit l'équation :

$$W_{adhésion} = \sigma_L (1 + \cos \theta) (6)$$

En réalité, pour provoquer une rupture dans un matériau viscoélastique tel que le bitume, il faudra fournir un travail mécanique supérieur à la valeur de $W_{adhésion}$ donnée par l'équation.

Le travail nécessaire pour obtenir une rupture est une fonction de la vitesse de déformation v et de la température :

$$W_{mécanique} = W_{adhésion} \times f(v, T) (7)$$

Pour les corps viscoélastique, on peut obtenir une relation d'équivalence entre v et T .

On donne le nom de la tension d'adhésion à la grandeur i_L qui est définie par l'équation (1).

On a donc d'après (1) et (6) :

$$i_L = \sigma_L \cos \theta = W_{adhésion} - \sigma_L (8)$$

D'après cette équation (8), la tension d'adhésion est inférieure à σ_C ; elle donne une indication sur la tendance du liquide à mouiller le solide. Elle permet de comparer différents liquides, et leur comportement vis-à-vis d'un même solide.

IV.2.2. ADHESION

Lorsqu'on est en présence des deux liquides en présence d'un solide, on peut définir une tension interfaciale d'adhésion :

$$i_i = \sigma_i \cos \theta \quad (9)$$

Dont la valeur permettra de déterminer celui des deux liquides qui, dans les conditions d'équilibres, aura tendance à chasser l'autre de la surface solide.

$$i_i = i_1 - i_2 \quad (10)$$

Pour un liquide et un solide donnés, il est une fonction parabolique de σ_L .

En effet, en tenant compte de l'équation de ZISMAN (3) dans l'équation (1), on obtient :

$$i_i = \sigma_L \cos \theta = \sigma_L (a - \sigma_L) \quad (11)$$

En traçant la courbe $i_L = f(\sigma_L)$, on a pu montrer que seuls des liquides ayant une tension d'adhésion $i_L > i_E$ de l'eau, pourront déplacer l'eau de la surface du solide considéré ; c'est-à-dire enrober le matériau humide (adhésivité active) et n'auront ensuite pas tendance à être chassés de la surface du solide par l'eau (adhésivité passive). Tout ceci est défini dans des conditions statiques et ne tient pas compte de la cinématique des phénomènes ; mais cela montre clairement l'importance des tensions superficielles et interfaciales dans les phénomènes d'adhésion et de cohésion.

IV.3. CARACTERISATIONS DE BITUME ROUTIER

Les bitumes produits par les raffineries sont classés d'après leur pénétration.

La pénétration est l'enfoncement dans un échantillon de bitume, exprimée en dixième de millimètre, d'une aiguille calibrée soumise à une force de 100g pendant 5 secondes à la température de 25°C (norme AFNOR NFT 66-004).

Chaque catégorie est définie par la valeur extrême de la pénétration à 25°C des liants qui y sont classés.

Il existe 5 classes pour les bitumes routiers :

- 180/220
- 80/100
- 60/70
- 40/50
- 20/30

IV.4. LES GRANDES CATEGORIES DE BITUMES ROUTIERS [26]

Il existe 3 (trois) catégories d'usage de bitumes routiers :

- bitumes pour enrobés à chaud ;
- bitumes pour émulsions ;
- bitumes fluidifiés.

IV.4.1. BITUMES POUR ENROBES A CHAUD [26]

La plus grande partie des bitumes routiers est consommée dans la fabrication d'enrobés à chaud. L'utilisation des bitumes dans les enrobés à chaud a considérablement augmenté au cours des cinquante dernières années alors qu'ils représentent environ 70% de la production globale en bitumes routiers.

Grave bitume

Un grave est un mélange naturel ou non, à granulométrie continue, de cailloux, graviers et sables avec présence de particules plus fines.

Il faut noter que l'extension des renforcements en grave-bitume a accru de 40% le tonnage consommé. Toutefois et parallèlement à cette augmentation, on peut observer une évolution vers l'emploi de bitumes plus durs:

- 60/70 ou 40/50 dans les couches de surface,
- 40/50 ou 20/30 dans les sables-bitumes et graves-bitumes des couches de base

IV.4.2. BITUME POUR EMULSION [26]

a. *Définition*

Une émulsion est un système colloïdal de deux liquides miscibles dont l'un est dispersé dans l'autre sous forme de gouttelette.

La phase dispersée ou phase interne est le liquide présent sous forme de gouttelette.

Le liquide entourant la gouttelette est la phase continue ou phase externe.

b. *Principaux emplois des émulsions de bitume :*

- Enduit superficiel ;
- Enrobé ;
- Grave émulsion ;
- Enrobé dense pour réparation.

IV.4.3. BITUMES FLUIDIFIÉS [26]

Les bitumes fluidifiés sont des bitumes 80/100 auxquels on a ajouté des produits venant de fractions plus légères de la distillation (kérosène).

Les bitumes fluxés sont des bitumes de 40/50, 80/100 ou intermédiaires, auxquels on a ajouté des huiles de goudron de houille.

V. UTILISATION DIRECTE DES GRES BITUMINEUX EN REVETEMENT ROUTIER [26] [27]

V.1. UTILISATIONS PRATIQUES EN REVETEMENT STANDARD

V.1.1. LES ENDUITS SUPERFICIELS

Un enduit superficiel est une couche constituée par un film de bitume sur lequel on étend une couche de granulat. Suivant le nombre de couches réalisées : un, deux ou trois, on a l'enduit superficiel monocouche, ou l'enduit bicouche ou tricouche. La technique des enduits superficiels est utilisée en revêtement des chaussées appelées à supporter un trafic léger ou modéré, ne dépassant pas le millier de véhicules par jour.

V.1.2. LES SAND-ASPHALTS (SABLE-BITUME) [26]

Ce sont des mélanges réalisés à chaud, constitués de sables propres et de bitume pur. Lessand-asphalts sont réservés aux classes de trafic faible ou modéré. Ils concernent les routes rurales traditionnelles.

Les tests au laboratoire pour définir les performances de ces matériaux sont :

- Les essais Marshall : (Stabilité et fluage)
 - Stabilité Marshall > 300kg
 - Fluage Marshall < 5 mm
 - Compacité Marshall > 87 %
- Les essais Duriez

C'est pour tester la résistance à l'eau et tester la résistance mécanique.

- Résistance à la compression (à l'air) : $R_c > 20$ bars
- Rapport immersion/compression : $R'_c/R_c > 0.70$
- Compacité Duriez : $CD > 85\%$

V.1.3. LES ENROBES DENSES A CHAUD (EDC)

Les enrobés denses à chaud sont des mélanges de gravillons, de sables et de bitume avec éventuellement des additifs, dosés, chauffés et malaxés en centrale. Le mélange est composé de 5 à 7% de bitume.

Ces matériaux conviennent à toutes les intensités de trafic rencontrés dans la pratique. On peut envisager la réalisation d'un tapis d'enrobés d'épaisseur comprise entre 2.5 à 8cm.

REMARQUE :

A Madagascar, cette épaisseur est habituellement de 2,5cm à 3,5cm pour les routes nationales.

Les performances des EDC sont :

- Les essais Marshall :
- Stabilité Marshall > 900kg
- Fluage Marshall < 4 mm
- Compacité Marshall > 92 %
- Les essais Duriez
- Résistance à la compression (à l'air) : $R_c > 20$ bars
- Rapport immersion/compression : $R'_c/R_c > 0.75$
- Compacité Duriez : $CD > 91\%$

Les autres essais au laboratoire sont :

- Teneur en liant
- Analyse granulométrique
- Densité apparente
- Poids spécifique

V.2. MISE EN ŒUVRE DE EN REVETEMENT STANDARD [26]

Le grès bitumineux est considéré comme un ensemble gravillon-liant utilisable dans les techniques de revêtement routier (le grès remplace le gravillon et le bitume est le liant naturel).

V.2.1. ESSAIS SUR UNE PLAQUETTE

Cette essais consiste à réaliser des couches de roulements sous forme de plaquettes dans les compartiments des moules pour déterminer la quantité du grès utilisée pour un volume envisagé.

Mode opératoire :

- Pesar le bloc du grès bitumineux
- Concasser le grès manuellement (à l'aide d'un marteau) jusqu'à ce qu'on obtient une granulométrie inférieure à 1 cm.



Photo 11 : Carrière Driez concassé

- Tarer l'échantillon à utiliser : 700 g pour l'essai I et 375 g pour l'essai II
- Allumer le charbon de bois de température 80 à 120°C.
- Verser l'échantillon dans une marmite en forme d'une demi-sphère
- Mettre la marmite au-dessus du charbon allumé

- Agiter l'échantillon qui se trouve dans la marmite pendant le chauffage
- Dès qu'un fumé commence à sortir sur l'échantillon, on arrête le chauffage.

Cette action ne durera qu'une minute environ.

REMARQUE :

Un test a été déjà effectué avant ce premier essai et cela a donné un résultat infructueux car le chauffage a pris beaucoup de temps (une heure). Durant ce temps, on a constaté des fumés qui sortent du grès, c'est-à-dire que les hydrocarbures (qui forment le liant) se sont évaporés.

Il ne faut jamais dépenser beaucoup de temps pour le chauffage. On retire immédiatement la marmite lorsque le grès commence à envoyer le premier fumé (une minute environ).

- Après le chauffage, le grès chauffé est versé dans la moule, et on a fait le compactage avec pression manuelle jusqu'à ce qu'on arrive à obtenir une surface plane.

Après toutes ces actions on a abouti à des résultats satisfaisants car deux couches de roulements d'épaisseur différent ont été réalisé comme plaquette dans les moules.



Photo 12 : Couches de roulements

Tableau 19 : Résultats sur les plaquettes

	Essai I	Essai II
Echantillon	Carrière Driez	Carriere Driez
Poids échantillons(en g)	700	375
Longueur(en cm)	14,5	14,5
Largeur(en cm)	8,975	9,15
Epaisseur (en cm)	2,775	1,65
Masse volumique des conglomérats(Kg/m ³)	1938 , 35	1713

Aucune mesure de dureté n'a pu être effectuée sur les dites plaquettes, néanmoins nous avons pu constater la formation de deux blocs très compacts, très durs et résistants au choc.

V.2.2. ESSAIS SUR SOL

Toujours une réalisation d'une couche de roulement.

a. Dimensionnement des trous

Tableau 20 : Dimensionnement des trous

	Trou I	Trou II
Longueur(en cm)	29,00	27,00
Largueur(en cm)	20,00	17,00
Epaisseur(en cm)	2,00	2,50
Volume(en m ³)	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$1,14 \cdot 10^{-3}$

b. Mode opératoire

Les modes de préparation ont été semblable à ceux utilisés aux plaquettes sauf que les moules en plexiglas ont été remplacées directement par les trous existant sur les rues.

- Allumer le feu
- Verser l'échantillon dans la marmite
- Mettre la marmite au-dessus du feu
- Agiter l'échantillon qui se trouve dans la marmite pendant la cuisson
- Une minute après on verse l'échantillon sur le trou et on commence le compactage manuel.

c. Résultats

Tableau 21 : Résultat sur sol

	Essaie I	Essaie II
Echantillon	Carrière Driez	Carrière Driez
Poids échantillon	2,00	2,00
Longueur (en cm)	29,00	27,00
Largeur (en cm)	20,00	17,00
Epaisseur(en cm)	2,00	2,50
Masse Volumique des conglomérats	1724,14	1742,92

La différence dans la masse volumique a été due au fait de l'inégalité de force décompactage appliquée à chaque trou. Ainsi le trou de l'essai II a été beaucoup plus compact de celle de l'essai I.

Après 30 minutes de repos, on a pu constater que nos revêtements se durcissent et se collent aisément sur les trous.

On a fait passer tout de suite après une voiture sur ces couches pour vérifier le comportement de ces derniers. Un simple constat a été dégagé que la couche a tenu au poids de la voiture.



Photo 13 : Couches

Les hydrocarbures qui se sont recelés dans le grès prennent la place des liants dans ces couches qu'on vient de réaliser, ces hydrocarbures assurent la cohésion des couches.

Conclusion

L'endroit où les essais ont été réalisés sur sol est très fréquenté par des véhicules roulants. Après 30 jours des essais, malgré les pluies et le fréquent passage des véhicules, les deux essais ont bien tenu. Aucune fissure ni de décollage n'a été constaté au niveau de chaque trou. On peut conclure que pratiquement, on peut utiliser directement le grès bitumineux de Bemolanga comme revêtement routier. Toutefois beaucoup d'essais et analyses rhéologiques doivent être effectués pour confirmer la faisabilité technique à grande échelle du projet. Pour la viabilité économique du projet, des intérêts particuliers devraient être portés à l'endroit des grès à faible teneur en bitume (<5%) qui sont faciles à exploiter car connus être friables, et de fait de coût d'exploitation faible (par rapport aux grès à haute teneur en bitume très compact).

CHAPITRE 2. ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

I. ETUDES D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX (EIE)

I.1. INTRODUCTION

L'Etude d'Impact Environnemental est une étude qui décrit le projet et son environnement et analyse les impacts ou effets négatifs et positifs du projet sur l'environnement. L'identification de tous les impacts négatifs permet de définir les mesures de prévention et d'atténuation de ces impacts négatifs. Cette Etude d'Impact Environnemental doit également définir le plan de réhabilitation du site après fermeture de l'exploitation.

L'objectif de cette EIE est donc de :

- minimiser les impacts des projets donnés sur l'environnement
- présenter des options ou alternatives aux décideurs du projet
- avoir un développement durable

I.2. DEFINITION

Selon le dictionnaire robert [48]

Ensemble des conditions naturelles et culturelles agissant sur les organismes vivants et les activités humaines.

Selon la charte des environnements malgache(CEM)

L'ensemble des milieux naturels et artificiels, y compris les milieux humains et les facteurs sociaux et cultures qui intéressent le développement.

I.3. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL (EIE)

Le souci de la dégradation de l'environnement constitue une préoccupation évidente dans une activité. Par exemple, tous travaux d'exploration et d'exploitation se terminent toujours par la perturbation ou la destruction des sites touchés.

I.3.1. DEFINITION D'UNE ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL :

Une étude d'impact environnemental est une étude scientifique qui décrit le projet et son environnement. Elle analyse les impacts ou effets négatifs ou positifs du projet sur l'environnement. Par la suite, l'objectif principal de cette « étude d'impact environnemental » est de restituer un équilibre durable et approprié entre les besoins de développement de l'homme et les soucis écologiques. De plus, cette EIE est aussi une obligation dictée par la loi MECIE (Décret n°99-954 du 15 Décembre 1999) pour les projets d'investissements publics ou privés susceptibles de porter atteinte à l'environnement

Cette étude inclura :

a. Les analyses de l'état initial du site

Ces analyses consistent à inventorier tant qualitatif que quantitatif, décrire et cartographier les grandes composantes des différents milieux (milieu physique, biologique et humain) afin de protéger l'environnement.

b. Les analyses des impacts

Le but de ces analyses est de déterminer les principaux impacts générés par les activités minières. Les impacts peuvent être négatifs et/ou positifs.

I.3.2. CYCLE DE VIE D'UN PRODUIT

Le cycle de vie comprend toutes les étapes couvertant la naissance jusqu'à la mort d'un produit.

La figure ci-dessous montre le cycle de vie d'une construction d'un revêtement routier avec le grès bitumineux de Bemolanga.

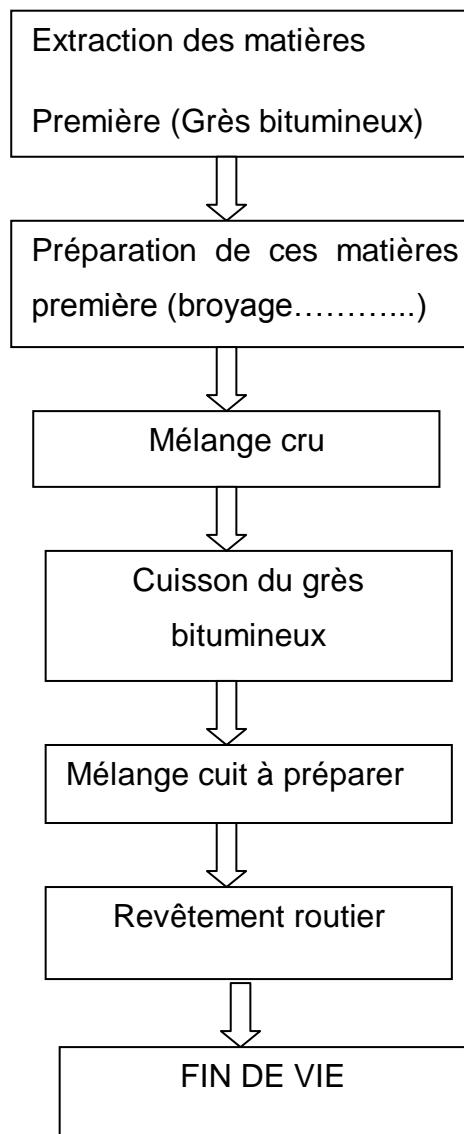


Figure 21 : Arbre de cycle de vie d'une construction d'un revêtement routier à partir du grès bitumineux

Le revêtement routier est obtenu par la cuisson du grès bitumineux.

Dans ce cas, il nous faut une combustion qui nécessite des combustibles.

Durant toutes les opérations :

- Dégagement de CO_2
- Dégagement de N_2O_5 après le dégagement d'eau

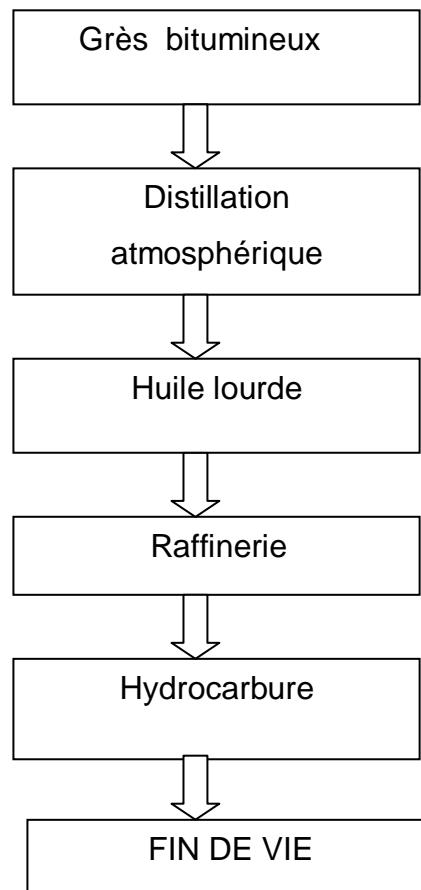


Figure 22 : Arbre de cycle de vie d'hydrocarbure à partir du grès bitumineux

II. EVALUATION DES IMPACTS

II.1. MILIEU PHYSIQUE

Dans l'impact environnemental, les activités pétrolières s'accompagnent toujours d'une destruction variable de l'environnement. Elles posent des risques sérieux pour l'écologie et la santé publique.



Photo 14 : Impact sur la faune

Le niveau de dommages à l'environnement est déterminé par la responsabilité de l'opérateur, la supervision du gouvernement, et les conditions spécifiques aux écosystèmes concernés. Même dans des environnements soumis à une réglementation rigoureuse, des dégradations interviennent.



Photo 15 : Pollution d'une plage

II.1.1. IMPACTS SUR L'AIR

Les sources de rejets atmosphériques sont :

- le four
- l'évaporateur.

Qualitativement, les émissions sont considérées de monoxyde de carbone (CO), du dioxyde de carbone (CO₂), des oxydes de soufre (SO_x), des oxydes d'azote (NO_x).

Les principales pollutions de l'air engendrées sont les poussières et les fumées émises par l'usine de traitement et les appareils utilisés par le propriétaire de l'usine. Ces émanations provoquent ou aggravent les maladies respiratoires chez les êtres humains. De même, ces poussières se déposent sur les plantes et perturbent leur développement. Selon la nature des activités, ces poussières peuvent contenir des substances toxiques.

Pollution de l'air :

L'air est pollué principalement par l'émission de fumée résultant de l'incendie des gaz, par les mauvaises odeurs, l'émission de CO₂ et les pluies acides provoquées par l'évaporation des gaz et des huiles. Le raffinage du pétrole entraîne le rejet de plusieurs polluants atmosphériques, dont les oxydes de soufre, les oxydes d'azote, les composés organiques volatils, le monoxyde de carbone et le benzène, de même que de nombreux gaz à effet de serre (GES).



Photo 16 : Raffineries d'hydrocarbures en Alberta

Lors de l'extraction des sables bitumineux, la tourbière est un immense réservoir de CO₂ : 15 à 30 % du carbone stocké dans les sols se trouveraient dans les tourbières.

L'impact environnemental le plus inquiétant du pétrole est effectivement cette émission de dioxyde de carbone résultant de sa combustion comme carburant.



Photo 17: Pollution de l'air

Le transport routier pollue du fait que les camions roulent au pétrole : la consommation moyenne d'un poids lourd citerne émet 79g de CO₂ par tonne transportée et par kilomètre parcouru, sachant qu'un camion transporte entre 10 et 22 tonnes de pétrole, soit pour 22 tonnes 1738 g de CO₂ libérés par kilomètre. En outre, les accidents de camions-citernes, fréquents au Nigéria, sont fatals.

L'exploitation de pétrole est donc également facteur de changements climatiques, favorisés par l'émission de gaz à effet de serre.

II.1.2. IMPACTS SUR LES RESSOURCES EN EAU

Les rejets liquides seront constitués des eaux de lavage des différents matériels utilisés. Par contre, les déchets solides qui sont constitués par la silice et le refus de tamisage seront exposés aux pluies et pourront être sources de pollution des eaux souterraines. L'eau est une ressource vitale pour les hommes, les plantes et les animaux. C'est aussi une ressource collective qu'il faut partager toute activité en un point donné à des répercussions sur les habitants et l'environnement en aval.

Le déversement accidentel ou voulu, le dépôt de produits (substances chimiques, etc.), de déchets solides (papier) et d'eaux usées (eaux domestiques, eau de lavage

des équipements) peuvent provoquer la pollution des eaux de surface et souterraines. Cette pollution représente un danger pour les hommes, les animaux et les plantes, certaines substances peuvent même entraîner la mort lorsque l'eau, les poissons ou les cultures irriguées (riz) sont consommés.

Pollution des eaux :

L'impact de cette activité sur les masses d'eau (rivière, lacs, eaux souterraines) va dans deux sens: soit il est dû à la pollution engendrée par les déchets de ces opérations, soit il résulte de l'interruption de leur cours.

La pollution des masses d'eau à grande échelle débute lors du forage exploratoire, lorsqu'une grande quantité de polluants sont générés, dont des résidus. Ces déchets, qui sont parfois radioactifs ou sont constitués d'autres substances polluantes, sont déversés dans des bassins. Là les rejoignent les boues de forage auxquelles on a ajouté des produits chimiques polluants.

Les eaux usées s'évaporent en surface et les polluants se tassent au fond polluant les sols, les rivières, et contaminant les plantes dont se nourrissent les animaux. Les aliments sont alors mauvais pour les habitants et il a été prouvé en Alberta qu'ils provoquaient des cancers, des attaques cardiaques et des tumeurs du foie.

En outre, les marées noires sont habituelles et polluent énormément. La plus importante fut celle de l'Ixtoc I, dans le Golfe du Mexique où 600 000 tonnes de pétrole brut se sont déversées dans l'océan entre juin 1979 et mars 1980.



Photo 18 : Pollution des eaux et impacts

II.1.3. IMPACTS SUR LE SOL ET LE SOUS-SOL

L'acidification NO_2 a un effet dans le sol et dans l'eau. Les effets sont la diminution du PH, une baisse de la teneur en nutriments et l'augmentation de la teneur en élément potentiellement毒ique.

Les déchets solides peuvent constituer une source de pollution du sol dans la mesure où des restes de produits chimiques peuvent persister dans ces rejets.

Les impacts typiques générés sur le sol comprennent : l'érosion due aux activités de construction, la pollution pétrolière provenant des boues de forage et des effluents, la déforestation, la perte de sols et la destruction de terres destinées à l'agriculture.



Photo 19 : Déforestation

La pollution pétrolière du sol peut produire l'étouffement des racines réduisant la vigueur de la plante et dans de nombreux cas, allant jusqu'à entraîner sa mort ; elle provoque aussi la disparition ou la réduction des populations de microfaune édaphique. Lorsque les polluants atteignent des zones cultivées, on enregistre des pertes de récoltes étant donné que beaucoup de plantes cultivées meurent au contact du pétrole brut. Dans d'autres cas, la productivité de la culture baisse, ce qui entraîne de sérieuses conséquences pour l'économie des propriétaires de cette terre. Suite à la fracturation hydraulique, des fuites importantes de gaz dans l'environnement et une contamination de nappes phréatiques superficielles par du gaz et des fluides de fracturation peuvent être causées en cas de défaut de cimentation de la partie supérieure du forage.

II.1.4. IMPACTS DES BRUITS

La pollution auditive est engendrée par le bruit des hélicoptères, des vedettes, du matériel industriel et de construction, de l'ouverture des routes d'accès, des scies, des explosions sismiques et des canons à air utilisés pour l'exploration ainsi que par l'installation de groupes électrogènes. Tout ceci perturbe les oiseaux et la faune en général.

Tableau 22 : résume l'identification des impacts potentiels possibles dans une exploitation minière

COMPOSANTES	SOURCES D'IMPACTS	IMPACTS POSSIBLES
PAYSAGE	<ul style="list-style-type: none"> - Installation de l'usine de traitement et préparation - Mode d'exploitation du gisement à ciel ouvert - Décapage et défrichement des matières végétales - Remblayage des stériles 	<ul style="list-style-type: none"> - Effet à première vue en chantier à causes des excavations - Perturbation visuelle - Perte de la valeur esthétique naturelle et récréative du chantier - Dextrinisation du paysage environnant
EAU	<ul style="list-style-type: none"> - Transport des substances polluantes provenant des déchets des matériaux traités ; - Les hydrocarbures liquides provenant des appareils de traitement et d'entretien - Ecoulement des eaux usées 	<ul style="list-style-type: none"> - Acidification du milieu risquant d'arrêter les activités biologiques - Tarissement des sources en eau - Dissémination des poussières et boues lors des pluies d'orage dans les milieux aquifères
AIR	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux préparatoires : Construction des pistes et aménagement du gradin ; - Abattage : forage des trous et tir de mine ; - Traitement des roches : concassage, criblage et broyage - Engins d'exploitation : circulation et échappement des moteurs 	<ul style="list-style-type: none"> - Dispersion des poussières et des particules chimiques dans l'air. - Emanation des gaz nocifs : S₂, CO, CO₂, NH₄, etc... - Modification de la qualité initiale de l'air ou pollution de l'air - Maladies respiratoires
BRUIT ET VIBRATION	<ul style="list-style-type: none"> - Tirs de mine ; - Fonctionnement des engins et manutention des matériaux ; - Les traitements des matériaux ; - la forage des trous de mine 	<ul style="list-style-type: none"> - Déstabilisation de l'équilibre du sol et risqué de dégâts aux constructions voisines ; - Gêne aux voisinages ; - Nuisance aux ouvriers miniers ; - Modification de la structure géologique profonde

II.2. MILIEU BIOLOGIQUE

Les pollutions de l'air, de sols et de l'eau peuvent entraîner des problèmes pour le milieu biologique environnant.

Impacts sur le milieu biologique :

L'exploitation pourra aussi provoquer de nombreux effets à la faune et à la flore.

Tableau 23 : résume l'identification des impacts potentiels possibles sur le milieu biologique

COMPOSANTES	SOURCES D'IMPACTS	IMPACTS POSSIBLES
FAUNE ET FLORE	<ul style="list-style-type: none">- Emanation des poussières ;- Défrichement ;- Décapage et contamination des sols ;- Rejets des polluants et déchets chimiques dans la surface ou dans des eaux ;- Excavations	<ul style="list-style-type: none">- Diminution en quantité et en qualité des espèces animales et végétales existantes ;- Enduit les plantes de poussières : perturbation du système de reproduction des plantes ;- Perturbation des faunes ;- Perturbation de l'équilibre de l'écosystème- Mortalité et/ou blessure des animaux piégés par les excavations

II.3. MILIEU HUMAIN

- L'installation de l'usine va provoquer le bouleversement des conditions de vie de la population alentour pouvant entraîner des conflits sociaux entre eux.
- La cuisson du grès peut provoquer des effets néfastes sur la santé des ouvriers.
- Les bruits émis lors de la cuisson, le broyage, le tamisage, les odeurs lors de dégagement et l'extraction peuvent perturber la population environnementale.
- L'émission des Gaz à Effet de Serre comme CO₂ peut provoquer la toxicité, la cancérogène, les effets allergènes, les irritations (la peau, la muqueuse, yeux, etc.)

Impacts sur le milieu socio-économique :

Tableau 24 : résumé l'identification des impacts potentiels possibles sur le milieu socio-économique

	SOURCES D'IMPACTS	IMPACTS POSSIBLES
MILIEU HUMAIN	<ul style="list-style-type: none"> - Matériels à moteurs d'exploitation ; - Tir de mine ; - Poussière et déchets chimiques ; - Augmentation de la population 	<ul style="list-style-type: none"> - Perturbation de l'équilibre économique existant ; - Prolifération des maladies - Emission des bruits et de vibration gênant la population ; - Pollution de l'air et dégradation des qualités des eaux par la contamination des déchets.
INFRASTRUCTURES	<ul style="list-style-type: none"> - Vibrations évoquées par le tir et le fonctionnement des matériels d'exploitation ; 	<ul style="list-style-type: none"> - Déstabilisation des infrastructures et risque de dégâts aux constructions voisines ;

III. GESTION ENVIRONNEMENTALE ET METHODES DE PREVENTION DES RISQUES

OBJECTIFS :

- Gérer les résidus de traitement ;
- respecter les réglementations communales et coutumières ;
- gérer les détritus/déchets/effluents domestiques (liaison avec la santé) ;
- respecter la population locale et ses intérêts ;
- gérer et manier les produits chimiques (liaison avec la santé).

MESURE D'ATTENUATION ET DE PREVENTION DE RISQUE ET DANGER

- Milieu physique Mise en place d'un système de dépôt des déchets solides pour les ressources en eau et le sol.
- Milieu biologique Mise en place de bassin de stockage de l'eau usée
- Milieu humain Masque anti-poussière
- Casque antibruit
- Suivi des santés des ouvriers
- Mettre en place un Plan d'Opération Interne (POI) et un Plan d'Urgence (PU)

III.1. PLANIFIER LES OPERATIONS

La planification de toutes les phases de prospection et exploitation est très importante, pour avoir être plus efficace et rentable. Cette planification doit tenir compte des contraintes environnementales et intégrer les mesures indiquées ci-dessous.

- observer la zone d'exploitation,
- identifier les contraintes environnementales locales
- et adapter les mesures de protection à chaque situation.

III.2. MESURES DE REHABILITATION APRES EXPLOITATION

III.2.1. *Définition de la réhabilitation*

Dès qu'une zone d'excavation ou de lavage est abandonnée, il faut la réhabiliter complètement. Ceci signifie qu'il est nécessaire de retrouver autant que possible l'état avant exploitation, voire améliorer cet état s'il était dégradé. Cette restauration doit avoir pour objectifs les actions suivantes:

- stabiliser la zone
- prévenir les risques après exploitation
- retrouver les conditions initiales de propreté et salubrité (voire les améliorer)
- restituer les fonctions initiales de la zone ou des fonctions équivalentes, pour les activités humaines, ainsi que la faune et flore.

III.2.2. *Mesures de réhabilitations*

Toutes les mesures de gestion environnementale recommandées dans la section précédente, à mettre en œuvre avant et pendant l'exploitation, permettent et facilitent cette restauration. Des mesures supplémentaires doivent être prises avant l'abandon d'un site. Ces mesures sont données ci-dessous.

Les principes suivants doivent donc être suivis :

- retrouver le tracé naturel; si cela n'est pas possible, trouver un contour stable, avec des pentes faibles;
- replanter la végétation stockée sur les terrains rebouchés, dénudés ou aérés; si cette végétation n'est pas suffisante, chercher dans les alentours des jeunes plants similaires au même endroit, mais prendre seulement 1 plant sur 10 environ.

III.3. MESURE DE PREVENTION ET D'ATTENUATION

III.3.1. Mesure de prévention

- L'usine doit être implantée loin des habitations de la population.
- L'exploitation doit avoir une politique de reboisement et déplantation afin d'absorber le CO₂.
- Il faut mettre en place un système de récupération du gaz nitrique et recyclage de l'acide nitrique.
- Pour le personnel de l'usine, toutes les protections corporelles nécessaires doivent être effectuées : casque, les gants, les blouses, les bottes.

III.3.2. Les mesures d'atténuation de l'environnement

Les mesures d'atténuation ont pour objectifs :

- atténuer les impacts négatifs et augmenter les retombées positives, tant sur les plans social et environnemental que sur le plan du développement régional ;
- appliquer les mesures d'atténuation et de valorisation pour chacune des composantes du projet et ce, au cours des diverses phases ;
- réaliser les actions prévues pour réduire les effets négatifs et maximiser les retombées positives du projet sur les plans régional et national.

IV. LA REMISE EN ETAT DU SITE

- La remise en état du site consiste à stabiliser la zone, retrouver les conditions initiales de propreté et salubrité et restituer les fonctions initiales de la zone après exploitation. Autrement dit, elle consiste à réintégrer les surfaces exploitées dans l'environnement de façon à leur redonner l'aspect d'un paysage naturel. Le but c'est de restituer les terrains à la nature avec un maximum de sécurité pour l'environnement, de retrouver les conditions initiales de propreté et salubrité du site voire les améliorer.

- Le coût d'une étude d'impact environnemental dépend de l'ampleur du projet variant de 4 000 000 d'Ar à 12 000 000 d'Ariary voire plus. Il faut prévoir aussi le budget pour la remise en état du site.



Figure 23 : Aperçu général de l'aménagement du site

Cette partie nous a permis de conclure que ce projet pourrait être rentable et faisable. Quoique sur le plan environnemental, des mesures de prévention et d'atténuation des risques de pollution et d'impacts sont à mettre en place.

CONCLUSION

Madagascar possède une réserve naturelle de pétroles dits non conventionnels qui appartiennent à la récupération secondaire : les grés bitumineux. Ce travail de l'exploration onshore d'hydrocarbures n'est maintenant qu'à la phase pionnière ou primaire. Ceci nécessite une technologie plus performante et appréciée afin de caractériser et valoriser.

Nous pourrions bien envisager que cette exploration réussisse, qui nous mette un degré économique croissant pour le pays. Le gisement de grès bitumineux est très important car il contient une réserve probable estimée à 3 milliards de tonnes de bitume.

Dans ce travail, nous avons fait des études pratiques aux laboratoires de l'OMNIS et de l'ESPA pour déterminer les caractéristiques du grès bitumineux. . Pour cela, nous avons fait des extractions au SOXHLET qui nous conduit à un résultat de teneur en bitume de la carrière Driez de 9,22%. Nous avons réalisé des analyses granulométriques et des teneurs en carbone Conradson, de la cendre sur le résidu du grès bitumineux et des essais de valorisation.

Des mesures de prévention et d'atténuation des risques de pollution et d'impacts sur le plan environnemental doivent être mise en place durant l'exploitation.

Toutefois, ces résultats demandent à être approfondis, mais nous pensons que même dans cette étape préliminaire, malgré les très nombreuses difficultés que nous avons rencontré au cours de notre travail, ils sont suffisamment intéressants pour mériter des études pratiques à grande échelle et approfondies.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Union Pétrolière, Pétrole : origine, production et traitement, Löwenstrasse 25, 8001 Zurich
- [03] BERNARD BIJU-DUVAL. Géologie sédimentaire : bassins, environnements de dépôts, formation du pétrole. Paris : TECHNIP, 1999. (1-2p).
- [06] OMNIS, Répartition en blocs du gisement de grès bitumineux de Bemolanga.
- [07] OMNIS, Technical data sheet Bemolanga tar sanddeposit.
- [17] RABE Christian, RALIDERA Clément, LNTPB Madagascar, Etude préliminaire en laboratoire pour la détermination du comportement mécanique du grès bitumineux de Bemolanga, 2^{ème} Congrès Malgache de la Route, 1997
- [18] Office national de l'énergie, Les sables bitumineux du Canada, 2006
- [19] IFP Energies Nouvelles, Hydrocarbures non conventionnels, 2011
- [20] Office national de l'énergie (2006), Les sables bitumineux du Canada, Perspectives et défis jusqu'en 2015 : Mise à jour, Office national de l'énergie, Calgary.
- [22] Les mises en valeur des grès bitumineux de Bemolanga et son impact dans l'économie nationale Malgache – Rapport de l'OMNIS – Page 3 à 31 – Juin 1981 – Document OMNIS
- [23] Grès bitumineux de Bemolanga – Moreau C. – Page 3 à 60 – Juin 1962 – Document OMNIS
- [24] Avant projet de traitement de 500 T/j de grès de Bemolanga – Page 1 à 4 – Rapport SPM – Mai 1966 – Document OMNIS
- [25] Les mises en valeur des grès bitumineux de Bemolanga et son impact dans l'économie nationale Malgache – Rapport de l'OMNIS – Page 3 à 31 – Juin 1981 – Document OMNIS
- [27] Virginie Mouillet CETE Méditerranée Laboratoire Régional des Ponts et chaussées d'Aix –en- Provence France consulté en octobre 2012
- [28] OMNIS DIRECTION DES HYDROCARBURES DEPARTEMENT TE_LABO

- [30]** Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention de diplôme d'ingénieur Génie Chimique intitulé Réalisation d'un four de laboratoire pour pyrolyse de grès bitumineux RAVAOJANAHARY Herimalala Harimisa et RASOANAIVO Yvon – Page 1 à 35 – Promotion 1986 – Document ESPA
- [31]** Etude de sable bitumineux de Bemolanga – Rapport de la compagnie IFP (Institut Français du Pétrole) – page 2 à 5 – Mai 1957 – Document OMNIS
- [33]** Expérimentation préliminaire sur l'utilisation routière et industrielle du grès bitumineux de Bemolanga – S. Donato Mil. Se – Page 17 – 1977 – Document OMNIS
- [34]** C Bardon, L Barré, D Espinat, V Guille, Li MH, J et Al.Lambard, The colloidal structure of crudeoils and suspensions of asphaltenes and resins. 14:203-42, Fuel SciTechnolInt 1996
- [35]** C.W. BOWMAN, G.W. GOVIER, "Status and challenges in the recovery of hydrocarbons from the oil sands of Alberta – Canada", Government of Alberta – 10ème conference sur l'énergie – 14 – 24 sept. 1977
- [36]** NX Thanh, M Hsieh, RP. Philp, Waxes and asphalténés in crude oils. 30:119-32, OrgGeochem 1999
- [37]** Thierry YALAMAS - ENPC Paris : Thèse de Doctorat - Mécanisme et interaction de la corrosion dans les procédés de raffinage, de traitement des huiles lourdes et chistes – 2005
- [38]** FRANCISCO, J. GUTIERREZ and Al., "The oil sands of Canada, Venezuela", CIM special Vol. 7, p. 69-77, 1977
- [39]** G.J. DEMAISON, "The oil sands of Canada – Venezuela" –CIM special, vol. 7 p. 9-16, 1977
- [40]** IIIrd International conference on heavy oil and tar sands, Long Beach California Vol. III, p. 1208-1220– July 1985
- [41]** J. BARNEA, "The future of heavy crude and tar sands", First international conference – Unitar, Edmonton – Canada , Chap. 1, p. 13-15, Juin 1979
- [42]** Kishore KUMAR, Amaranatha REDDY, Investigation of cold-in-place recycled mixes in India, volume 9, number 4, pp 265- 274, August 2008
- [43]** D Langevin, S Poteau, I Hénaut, JF Argillier, Crude Oil émulsion properties and their application to heavy oil transportation. Oil Gas SciTechnol ; 59:511-21– Rev IFP 2004

[44] D Lanier, Heavy oil – a major energy source for the 21st century. Proc. 7th Unitar Heavy Crude and Tar Sands Int. Conf. Beijing.039, 1998

[45] Traitement de bitume de Bemolanga – Rapport SPM – Page 9 – Décembre 1960. Document OMNIS

[46] Synthèse sommaire des connaissances sur le gisement des grès bitumineux de Bemolanga et les possibilités d'exploitation – Rapport SPM – Page 1 à 7 – Mars 1961 – Document OMNIS

[47] Xavier Chavannes, La production des champs pétroliers, Laboratoire Environnement et Développement, Uni. D. Diderot, Paris.

[49] Contribution à l'étude préliminaire de récupération in-situ du bitume du gisement de Bemolanga – RAHELIARIMANANA Lydia – Page 1 à 63 – 1982 – Document OMNIS

WEBOGRAPHIE

[04] Laboratoire de chimie 2701. Combustibles minéraux, huiles minérales et produits de leur distillation, 2007,

[<http://www.restode.cfwb.be/download/programmes/7-5260.pdf>].

[05] « Pétroles non conventionnels » dans Sources d'énergies alternatives, 2007, [<http://www.wolf.readinglitho.co.uk/français/pages/funcoils.html>], (12 septembre 2007), 14k

[08] « Procédé d'injection de la vapeur »,

[<http://www.autojeu.mg/printArticle.php?articleId=339526>], (décembre 2007), 10k.

[09] <http://www.total.com/fr/nos-energies/petrole/exploreret-produire/nos-savoir-faire/huiles-lourdes-bitumes-900102.html>, Total - Bruts extra-lourd et bitumes - Les huiles lourdes. Consulté le 27 avril 2010

[10] Injection de vapeur, 2007,

[<http://www.moov.mg/economie.php?articleId=329819>], (septembre 2007), 67k.

[11] INRS. « Benzène », Fiche toxicologique. FT 49, 2007,

[[http://www.inrs.fr/INRSPUP/inrs01.nsf/inrs01_search_view_view/5F30BF77BO641B18C1256D55004F8000/\\$FILE/VISU.html](http://www.inrs.fr/INRSPUP/inrs01.nsf/inrs01_search_view_view/5F30BF77BO641B18C1256D55004F8000/$FILE/VISU.html)], (11 février 2008), 43k

[12] AREHN. Le pétrole, 2007,

[<http://www.arehn.asso.fr/dossiers/petrole/petrole.html>], (18 janvier 2008), 39k.

[13] Robinson. Gisement pétrolier Madagascar Oil, 05 août 2006,

[<http://robinson.winnerbb>]

[14] Centre canadien d'info sur l'énergie. Densité en degré A.P.I, 18 décembre 2007, [http://www.centreinfoeie.com/generator.asp?template=1,1&xml=%2Fsilos%2Foil%2Foil_overview_01XML.asp], (15 février 2008), 46K.

[15] « Densité », [<http://www.centreinfo-energie.com/generator.asp?Template=1,1&xml=%2Fsilos%2Foil%2FoilOverview01XML.asp>], (juillet 2007), 46k

[16] Densité en degré A.P.I, dans Blog finance, 2007, [http://www.liseweb.fr/BLOG/?page_id=214], (06 Novembre 2007), 50k.

[21] Engelhardt R, Todirescu M, (2005). An Introduction to Development in Alberta's Oil Sands. Edmonton : University of Alberta, School of Business.[http://www.actu-environnement.com/Académie des technologies \(National Academy of Technologies of France\)The National Energy Board Région de l'Alberta](http://www.actu-environnement.com/Académie des technologies (National Academy of Technologies of France)The National Energy Board Région de l'Alberta)

[26] WWW.butumeinfo.com **Consulté en2010**

[29] WWW.omnis.com **Consulté en2010**

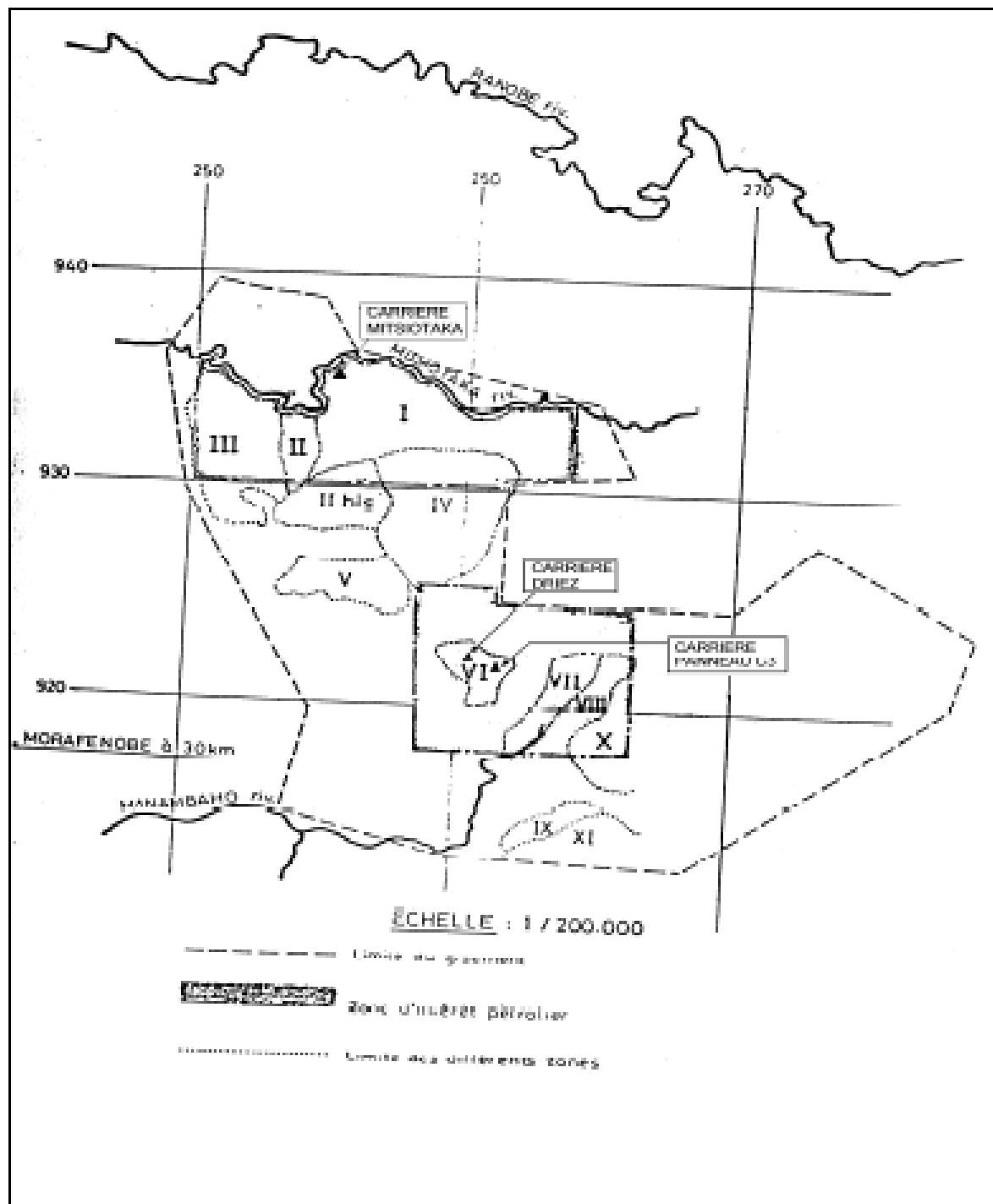
[32] WWW.mortier.beton.com Consulté en 2011

[48] http://mmm,encyclopedie, cc/Bassin_versant

ANNEXES

ANNEXE1

Répartition en bloc du gisement de Bemolanga et emplacement des carrières de prélèvement



ANNEXE 2

Carte du Venezuela et localisation des gisements d'huiles extra lourdes dans le bassin du fleuve Orénoque. Source : U.S. Geological Survey, 2009.



ANNEXE3

Carte des dépôts de sables bitumineux de l'Alberta. Source : Einsteiorman



ANNEXE 4 MIXER BRAWN [23]

■ **But :**

Cette machine est aussi utilisée pour le lavage à l'eau chaude du grès bitumineux.

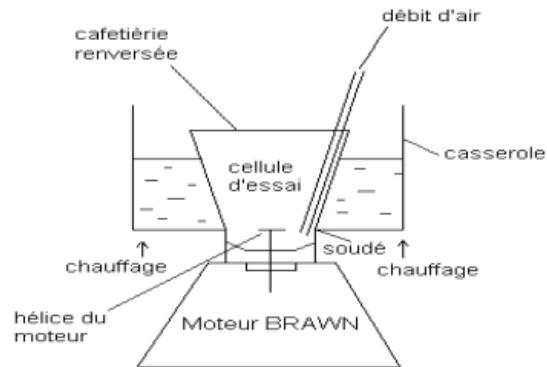


Figure 4.a: Mixer BRAWN

■ Test et résultat

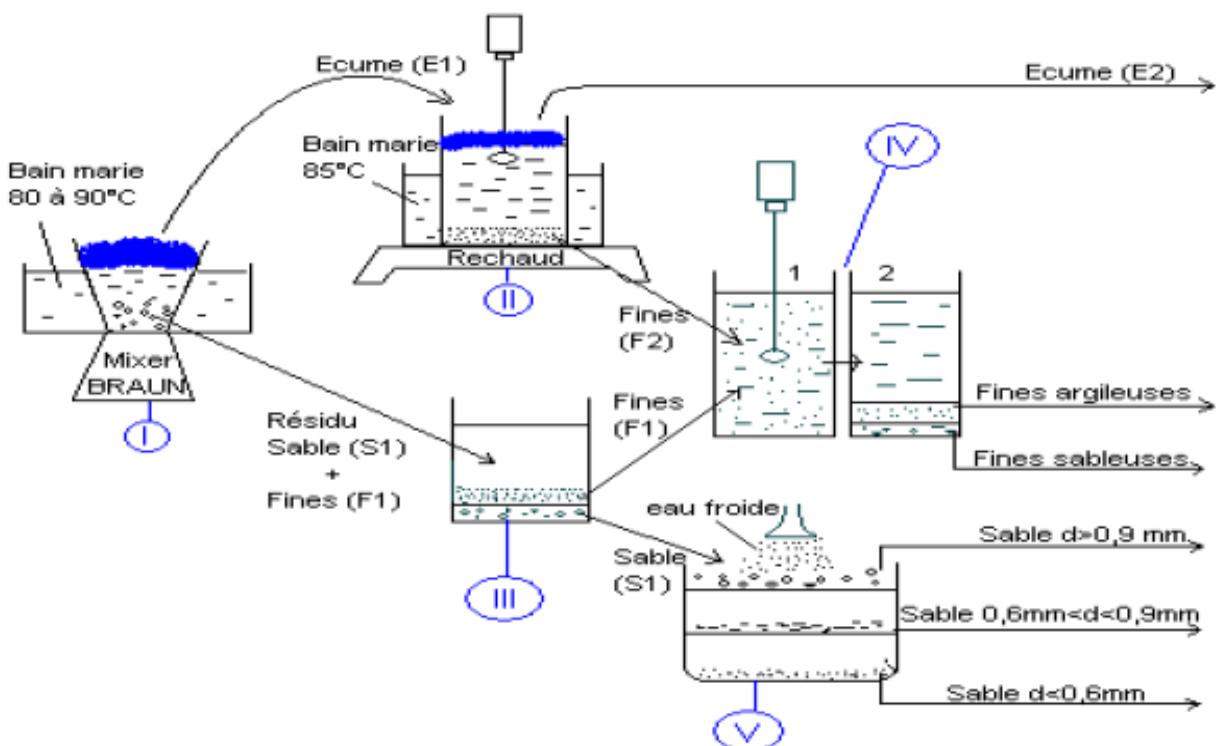


Figure 4.b: Séparation bitume-grès par le mixer BRAUN

REMARQUE :

Sans adjonction d'air, il se produit une faible remontée de bitume en surface sous l'influence des bulles d'air emprisonnées le sable. Quand il n'y a pas des bulles d'air, la remontée s'arrête. Ceci peut s'observer à l'œil nu et s'explique par la densité du bitume pur très voisine de celle d'eau.

- Lavage

200 g sable bitumineux (SH% : 7,10)

1 L eau chaude pur

30 minutes à environ 3000t/mn

- Purification de l'écume

Par agitation modérée (400t/mn) pendant 5 minutes (desémulsion) dans 1 L d'eau

- Décantation puis séparation sable-fines

Dessablage des fines (F1) + (F2)

Mise en suspension et dispersion de la fraction colloïdale : agitation 500t/mn pendant

15 minutes dans 1 L d'eau à la température ambiante.

Décantation et récupération des 2 phases.

- Tamisage du sable (s1) sous l'eau froide

MATERES MINERALES		BITUME	
Répartition %	Teneur en bitume	Répartition %	Teneur en mat. min.
Ecume (E2)	0,7	82,6	
Fines argileuses	6,95	30,0	
Fines sableuses	5,0	4,7	49,2
Sable d>0,9mm	6,9	3,8	
Sable 0,6mm< d<0,9mm	9,0	0,7	38,4
Sable d<0,6mm	69,2	0,25	70,0
		3,2	95,3
		3,4	96,2
		0,8	99,3
		2,3	99,75

Figure 4.c: Bilan du test au mixer BRAUN

ANNEXE 5

ESSAI DEAN STARK [49]

- **But :** Extraction au solvant

Cette méthode est équivalente à la méthode d'extraction au SOXHLET qu'on a vue dans la partie 2, mais ce qui la différencie c'est la détermination du teneur en eau.

On utilise comme solvant le Xylène dont $d = 0,86$ distillant entre 136°C et 140°C

- **Mode opératoire**

- On pèse 50g d'échantillon que l'on introduit dans les cartouches. Ces derniers sont fixés sur l'extracteur.
- Dès qu'on verse le solvant, initialement incolore, devient noir après avoir traversé l'échantillon
- L'extraction a durée 12 heures
- La durée d'extraction est proportionnelle à l'indice de saturation de l'huile dans le grès, plus l'indice est élevé, plus la durée d'extraction est longue.
- On mesure le volume d'eau dans le tube à recette et à volume est supposé égal à la masse.
- On met les cartouches contenant les résidus d'extraction dans l'étude à la température de 140°C pour obtenir des résidus secs afin de ne pas fausser le pesage.
- On les met dans le dessiccateur pour stabiliser la température puis on les pèse.

On procède de la même manière pour déterminer la teneur en huile. Seulement, on pèse l'huile dans un cristallisoir.



Appareils SOXHLET et DEAN STARK

L'appareil qui se trouve au milieu sur la Photo est le DEAN STARK. Les deux qui se trouvent sur les cotés sont les appareils SOXHLET

■ Extraction de l'eau au Xylène :

Elle consiste à extraire l'eau d'échantillon non étuvé dans un appareil DEAN STARK au Xylène. Le volume d'eau extrait a été relevé à chaque $\frac{1}{4}$ d'heure.

Il faut faire remarquer les erreurs accidentelles dans la lecture du volume d'eau dans le récepteur DEAN STARK. Compte tenu de ces erreurs, la conclusion confirme les résultats acquis par ailleurs : toute l'eau est extraite au bout de 60 minutes au Xylène.

ANNEXE 6

Détermination de la viscosité

La détermination de la viscosité fait l'objet de la norme NF T60-100 ou ASTM D 445.

Matériels : viscosimètre, bain thermostatique

Bain thermostatique

Un bain thermostatique est nécessaire pour la mesure de la viscosité, pour tenir la Température désirée.

■ Mode opératoire :

- remplir avec de l'échantillon jusqu'au trait du viscosimètre
- boucher l'autre tube
- mettre dans le bain thermostatique pendant au moins 30mn pour avoir la température voulue
- laisser le liquide descendre en débouchant le tube
- mesurer le temps de parcours de l'échantillon dans les bulbes inférieur et supérieur.

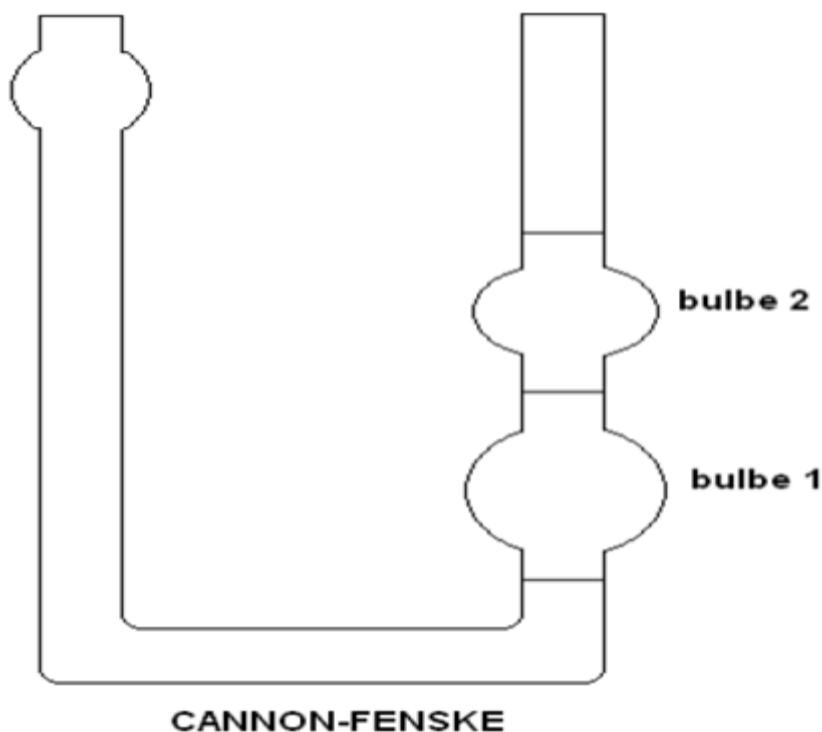


Figure : viscosimètre

ANNEXE 7 : Détermination de la densité

La mesure de la densité fait l'objet de la norme NF T60-101. Dans les pays anglo-saxons, la norme D 287-39 est relative à la mesure de la specific gravity ou de l'A.P.I gravity.

Matériel : pycnomètre et balance de précision

Produit utilisé : eau distillée

Mode opératoire :

- verser de l'eau dans le pycnomètre et peser.
- verser l'échantillon dans le pycnomètre vide et bien propre. Peser.
- ajuster avec de l'eau distillée. Et peser l'ensemble.

Densité spécifique d'un brut donne à 15.6 °C.

Elle s'exprime par la formule suivante :

$$\text{Specific gravity } 60/60^{\circ}\text{F} = \frac{\text{Poids d'un volume de produit à } 60^{\circ}\text{F}}{\text{Poids du même volume d'eau à } 60^{\circ}\text{F}}$$

Et la gravité API se définit comme:

$$^{\circ}\text{A.P.I} = \frac{14.5}{\text{Specific gravity}} - 131.5$$



Figure : pycnomètre

ANNEXE 8

Détermination de la teneur en cendres

■ Mode opératoire :

- Mettre le creuset contenant l'échantillon dans le four chauffe à 850°C pendant plus de 2h 30mn
- Veuillez à ce que les échantillons soient complètement oxydes
- Sortir le creuset du four, refroidir et peser

ANNEXE 9

Détermination de la teneur en matières volatiles

■ Mode opératoire :

- Mettre le creuset contenant l'échantillon dans le four chauffe à 400°C pendant 20mn
- Sortir le creuset du four et le refroidir dans le dessiccateur
- peser

ANNEXE 10

Détermination de la teneur en carbone fixe

Elle s'exprime :

$$CF=100-(H+C+M)$$

ANNEXE 11

Détermination du pouvoir calorifique

Il est exprime en KCal/kg ou Cal /g ; $PC= (100-K) \times 80$

ANNEXE12

Appareil CONRADSON

L'appareil Conradson comprend :

- Un creuset en porcelaine ou en quartz de $30\text{ ml} \pm 1\text{ ml}$ de capacité (1)
- Un creuset Skidmore (2) en acier avec couvercle de $6\text{ ml} \pm 0,5\text{ ml}$ de diamètre
- Un troisième creuset en acier avec couvercle (3) contenant environ 25ml de sable sec
- Une sorte de Hotte (5) en acier (4) pour la hauteur de la flamme
- Un boitier en métal (6)
- Un triangle (7) en Chrome-Nickel placé sur le trépied pour supporter les creusets
- Un trépied (8)
- Un brûleur (9) type Meker ayant un orifice de 25 mm de diamètre, hauteur environ 160 mm. La distance de la tête du brûleur à la base du creuset doit être de 50 mm.
- Un dessiccateur comme appareillage annexe.

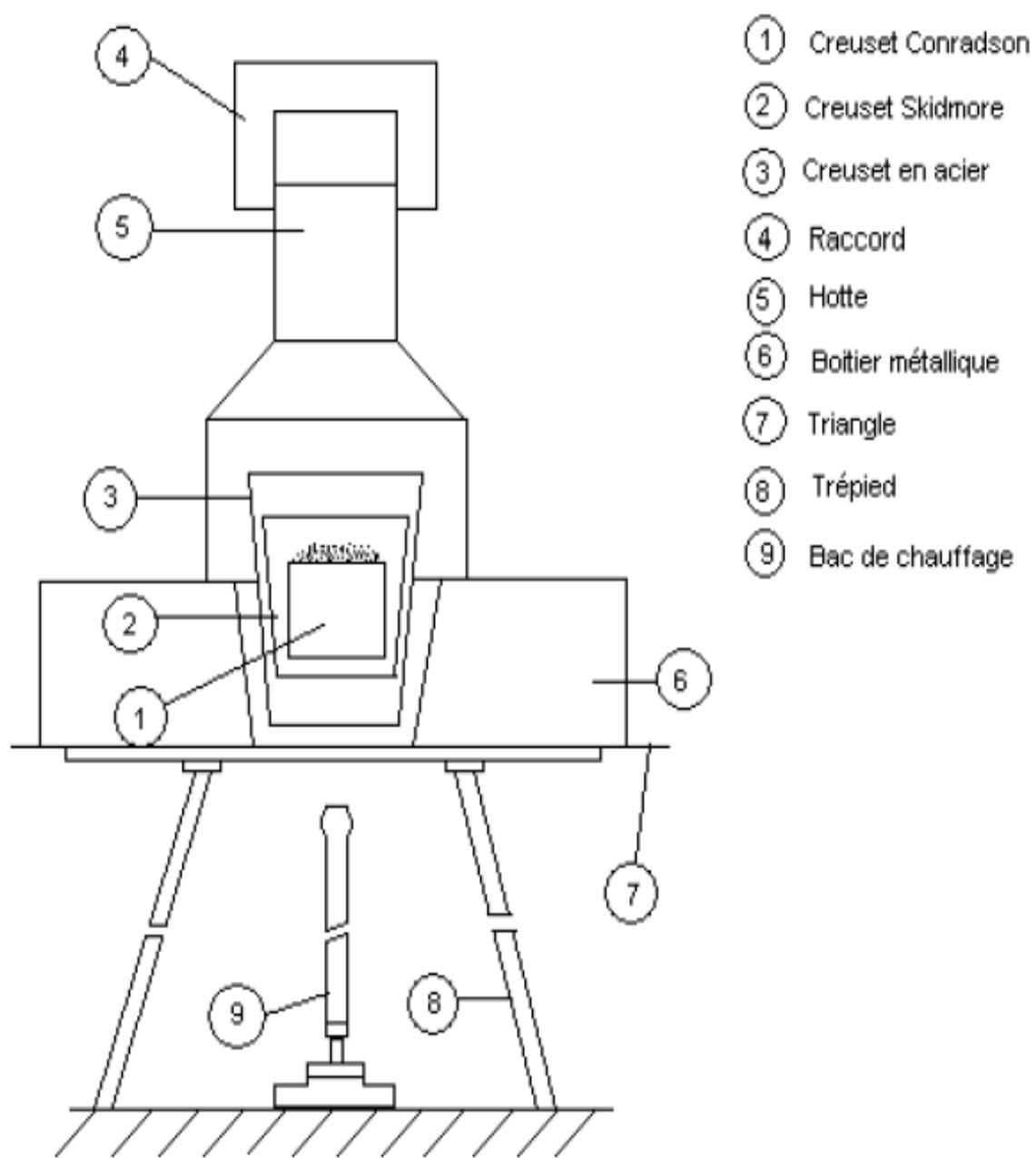


Figure : Appareil CONRADSON

ANNEXE 13

LE MICROSCOPE POLARISANT

Le microscope polarisant permet de déterminer la composition minéralogique de la roche étudiée.

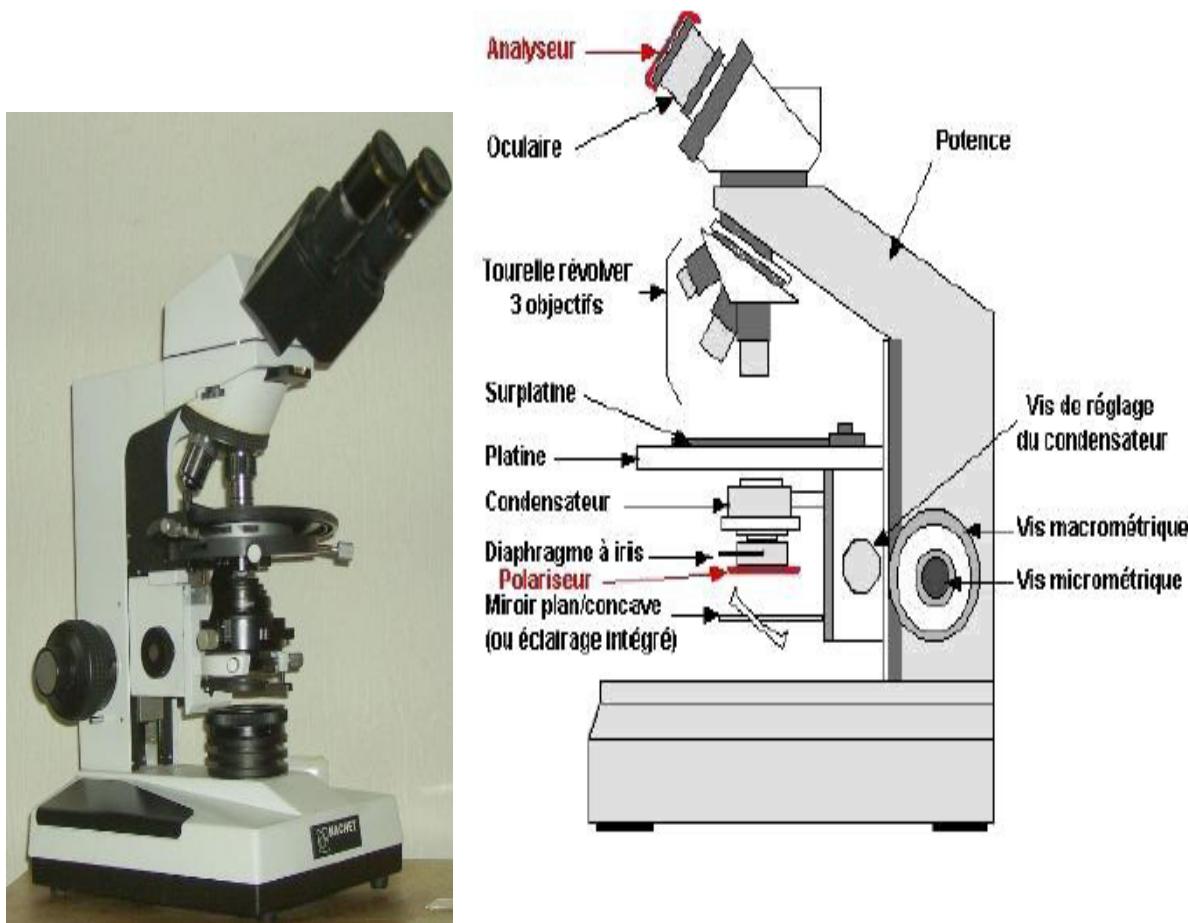


Figure : Microscope polarisant

ANNEXE 14

Détermination de la classe des bitumes à partir des essais de pénétration à l'aiguille

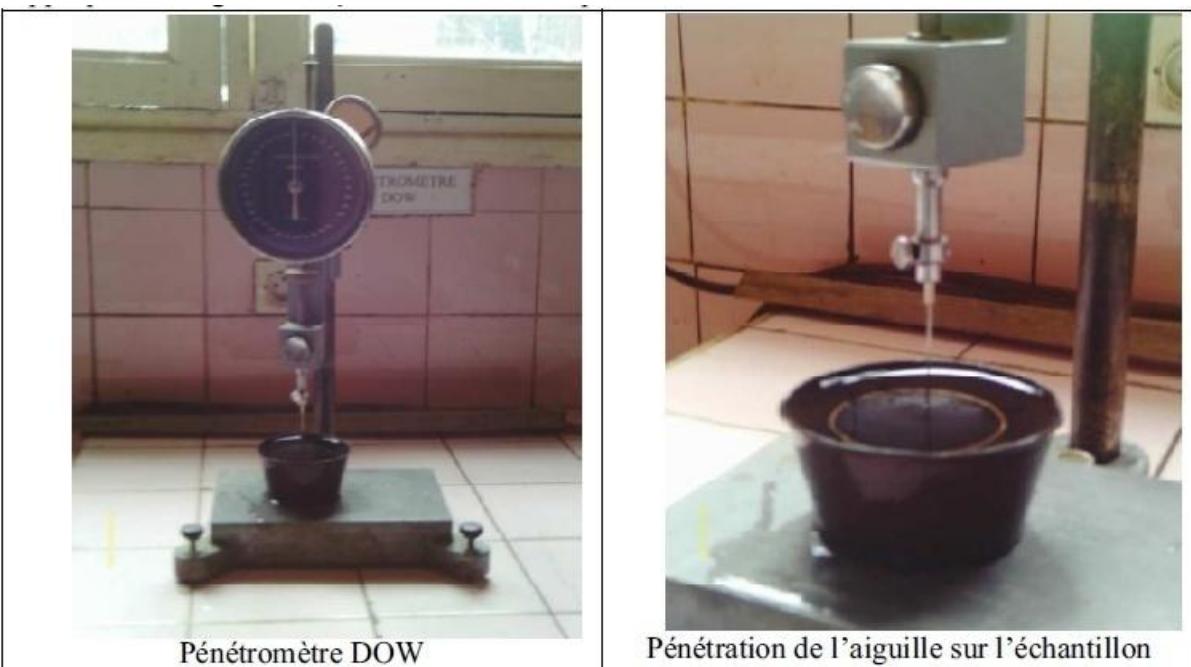
Mode opératoire

On mesure la pénétration d'une aiguille de référence dans l'échantillon d'essai conditionné.

Les conditions opératoires qui s'appliquent aux pénétrations inférieures ou égales à $500 \times 0,1\text{mm}$, sont : température $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, charge appliquée 100 g , durée d'application de la charge 5 s .

Pour les pénétrations supérieures à cette limite, la température d'essai doit être de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, alors que la charge appliquée et sa durée d'application restent inchangées.

Appareillage



- Pénétromètre, dispositif permettant au porte-aiguille de se déplacer verticalement sans frottement mesurable, et permettant la détermination de la pénétration de l'aiguille au dixième de millimètre près.)
- Aiguille de pénétration, en acier inoxydable trempé à cœur, revenu et poli. Le corps de l'aiguille doit avoir un diamètre compris entre $1,00\text{ mm}$ et $1,02\text{ mm}$: une de ses extrémités doit être tournée symétriquement en un cône ayant un angle de $9^{\circ} 10' \pm 30'$ sur toute sa longueur.

— Récipient d'échantillon d'essai, cylindrique, à fond plat, en verre ou en métal. La profondeur interne du récipient doit être supérieure d'au moins 10 mm à la pénétration attendue et elle ne doit pas être inférieure à 35 mm. Son diamètre intérieur doit être au moins de 55 mm et au plus de 70 mm.

Détermination de la pénétrabilité

■ Premières déterminations

L'un des récipients d'échantillons étant en place, abaisser lentement l'aiguille jusqu'à ce que sa pointe coïncide avec son image réfléchie par la surface de l'échantillon. S'assurer que la position zéro de l'aiguille est bien repérée, puis libérer rapidement le porte-aiguille pendant le laps de temps prescrit. Si le récipient bouge pendant la détermination, interrompre l'essai.

Régler l'appareil de façon à déterminer la pénétration de l'aiguille dans l'échantillon exprimée en dixièmes de millimètre.

■ Répétition de l'essai

Effectuer au moins trois déterminations validées avec trois aiguilles différentes sur des points de la surface de l'échantillon situés à au moins 10 mm du bord du récipient, et à au moins 10mm les uns des autres. Employer une aiguille propre pour chaque détermination. Si la pénétration est supérieure à $100 \cdot 0,1$ mm, laisser toutes les aiguilles dans les échantillons jusqu'à ce que toutes les déterminations aient été effectuées. Si lorsque l'essai est conduit en dehors du bain, les trois déterminations ne sont pas effectuées dans un délai de 2 min, remettre l'échantillon et la cuve de transfert dans le bain et répéter la/les détermination(s).

À l'issue de l'essai, les aiguilles de pénétration doivent être nettoyées avec un solvant approprié et rangées de façon à éviter tout risque de corrosion ou de détérioration.

ANNEXE15

CARACTERISATION DU BITUME D'APRES LABORATOIRE REGIONAL DES PONTS ET CHAUSSEES D'AIX –EN- PROVENCE FRANCE [27]

Applications bitumineuses

Possibilité d'utilisation et de recyclage des enrobés bitumineux à base de bitume polymère.

Comparaison des résultats de teneurs en liant soluble des agrégats obtenues selon les différentes méthodes d'extraction préconisées dans la norme en 12697-1.

PRESENTATION DU PROJET EUOPEEN RE-ROAD

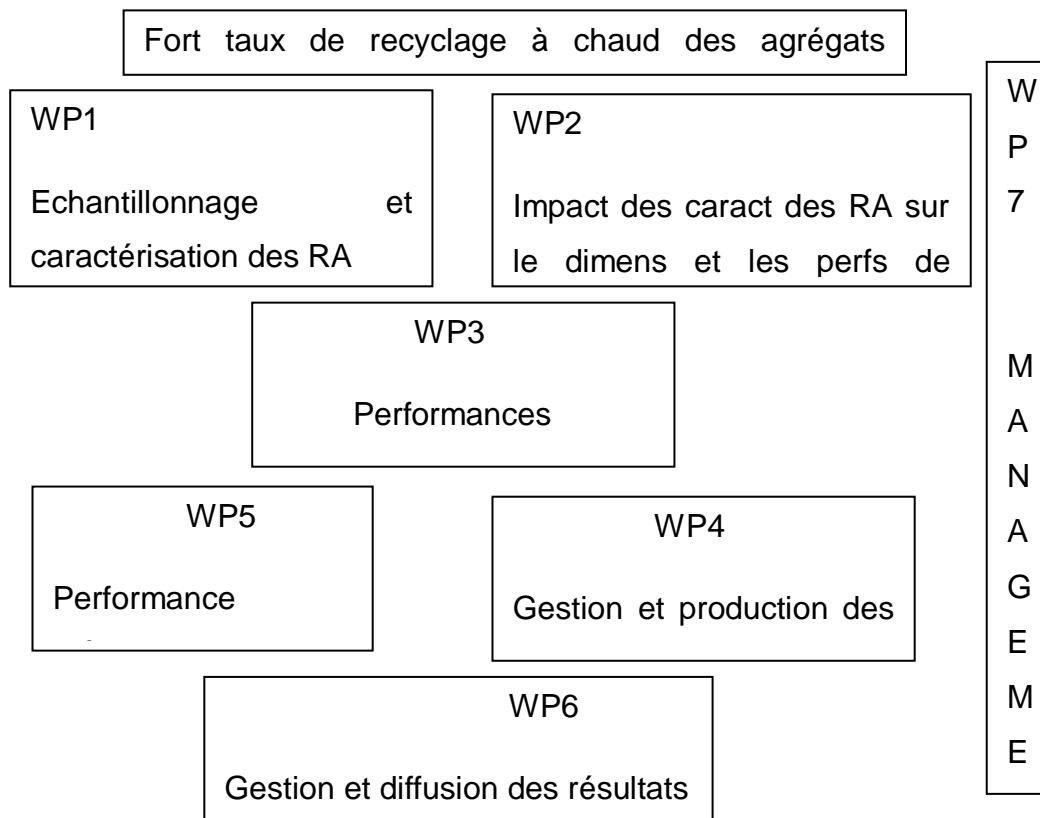


Figure: présentation du projet européen RE-ROAD

WP1 « ECHANTILLONNAGE ET CARACTERISATION DES AGREGATS »

3 sous taches :

Task 1 .1 (IFSTTAR, TRL, ZAG) : « Echantillonnage des agrégats »

Task 1 .2 (IFSTTAR, BRRC, TUBS, CDV, ZAG, IBDiM) : « Amélioration de la caractérisation des agrégats, en particulier ceux contenant des bitumes/polymère »

Task 1 .3 (SGI, IFSTTAR, NUID UCD, CDV) : « Caractérisation environnementale des agrégats »

PROBLEMATIQUE DE L'UTILISATION DES AGREGATS

- Origine de l'agrégat d'enrobé : un même chantier ou plusieurs même nature de couches « Notion de variabilité »
- Age de l'agrégat d'enrobé « notion de vieillissement »
- Nature du liant hydrocarboné : bitume pur, bitume modifié par des polymères, bitumes spécial, présence d'amiante, de goudron.....
- Classe des granulats
- Domaine d'emploi visé : taux de recyclage, nature de la couche.....
Mêmes exigence concernant les mélanges bitumeux avec ou sans agrégats d'enrobés Le niveau d'homogénéité de l'agrégat détermine la quantité maximale pouvant être utilisée

ENJEUX DE LA CARACTERISATION DES AGREGATS

Homogénéité du stock d'agrégats avant réutilisation

Agrégats de provenance unique :

Influence de la vitesse d'avancement et profondeur de fraisage sur la granularité

Agrégats de provenance diverses :

Triés, concassés, et criblés dans le cas de provenance diverses puis stockés en centrales d'enrobage ou en plate-forme de recyclage

VARIABILITE DE L'HOMOGENEITE DES AGREGATS D'ENROBES

- ❖ Teneur en liant moyenne
- ❖ Dispersion, étendu des valeurs

Principe de l'essai :

- Extraction du liant par dissolution dans un solvant froid ou chaud ;
 - Séparation de la matière minérale et de la solution de liant ;
 - Détermination de la quantité de liant par différent ou par récupération du liant
 - Calcul de la teneur en liant soluble
- Méthode d'essai uniquement informative pour les mélange aux liants modifiés par des polymères

Facteurs de dissolution des liants modifiés par des polymères :

- Solvant
- Température
- Temps d'extraction

DESCRIPTIF DES MATERIAUX TESTES

Tableau : Descriptif des matériaux testés

Echantillons d'agrégats prélevés sur site	Echantillons d'agrégats fabriqués en laboratoire	Echantillon d'enrobe « témoin »
<p>Agrégats d'enrobé de 10 ans d'âge échantillonnés directement après fraisage :</p> <ul style="list-style-type: none">• « PRA » : le liant utilisé est un bitume élastomère (mélange physique)• « RA(V1) » : le liant utilisé est un bitume élastomère (mélange chimique, styreelf).	<p>Agrégats d'enrobés fabriqués en laboratoire selon le protocole RILEM :</p> <ul style="list-style-type: none">• « AC11 » : le liant utilisé est un bitume pur 35/50 teneur en liant = 5,40%• « MR » : le liant utilisé est un bitume /polymère• Teneur en liant = 7,00%	<p>Stone Mastic Asphalt (« SMA8 ») à base de bitume /polymère et incorporant 15% d'agrégats avec bitume/polymère</p>

EXTRACTION DU LIANT : METHODES ET SOLVANTS

6 laboratoires européens participants : 4 méthodes utilisées avec 4 solvants différents

Tableau : Méthode pour extraction du liant

Standard méthode	BRRC	IBDiM	IFSTTA R	LR-AiX	TUB S	ZAG
<u>EN-Méthodes pour l'extraction du liant</u>						
Extraction à chaud		X	X	X(1)	X(2)	
Soxhlet						
Machine tournante à bouteille centrifugeuse	X(2,3)					
Dissolution du bitume par agitation à froid				X(2)		
Méthode alternative					X(1)	X
Extraction automatique et centrifugation						
EN-Méthodes pour la séparation de la matière minérale						
Centrifugeuse à flux continu	X(2,3)	X	X	X(1)	X(2)	
filtre à pression						
centrifugeuse à godets –type 1						
centrifugeuse à godets –type 2				X(2)		
Méthode alternative						
Extraction automatique et centrifugeuse	X(1)				X(1)	X
<u>Solvant</u>	X(2)					
Toluène (tol)						
Trichloréthylène (TCE)	X(1)					
Dichlorométhane(DCM)	X(3)					
Perchloréthylène(PCE)		X	X	X(1,2)		

RESULTATS : AGREGATS PRELEVES SUR SITE

Tableau: Résultats des agrégats prélevés sur site

	PRA+PhysicalPmB	RA(V1)+chemical PmB
SMA8		
Moyenne	3,78	6,85
6,42		
Ecart-type	0,24	0,33
0,08		
Coefficient de variation	6,33	5,08
1,18		
Minimum	3,40	5,79
6,70		
Maximum	4,23	7,00
6,89		
Etendue	0,83	0,30
1,19		

Forte dispersion des résultats pour les 2 agrégats en comparaison de l'enrobé témoin ; Problème d'échantillonnage influence des paramètres expérimentaux

RESULTATS : AGREGATS DE LABORATOIRE

Tableau: Résultats des agrégats de laboratoire

	AC11	AC11 Vieilli en laboratoire	MR (=SMA)	MR (=SMA) vieilli en laboratoire
Valeur vrai (formation)	5,40	5,40	7,00	7,00
Moyenne	5,49	5,48	6,78	6,77
Ecart-type	0,17	0,24	0,26	0,17
Minimum	5,19	5,05	6,46	6,49
Maximum	5,80	5,92	7,36	7,04
Etendue	0,61	0,87	0,90	0,55
Respectabilité(R)	0,28	0,36		
Reproductibilité (R)	0,47	0,68	0,73	0,48
Incertitude (K=2)	0,20	0,34		

Ecart à la valeur vraie :

- De 0,02 pour l'agrégat AC11
- De 0,03 pour l'agrégat MR

Choix du solvant :

- Pour l'agrégat AC11
- Pour l'agrégat MR(ou SMA) : TCE

RESULTATS : AGREGATS PRELEVES SUR SITE

Analyse des résultats en fonction des méthodes et solvants utilisés :

Tableau: Analyses des résultats en fonction des méthodes et solvants utilisés

Mélange		SMA8			PRA+PhysicalPmB			RA(V1) +cheminalPmB							
Laboratoire	Solvant	Résulta ts	moy	Std	résul tats	moy	std	résultats	moy	Std					
BRRC(1)	TCE	6,87	6,86	0,09	3,48	3,67	0,25	6,65	0,21						
		6,83			3,50										
		6,78			4,11										
		6,76			3,64										
		6,90			3,50			6,50							
		7,00			3,80			6,80							
IBDIM	PCE	7,00	6,91	0,09	3,40	3,82	0,30	6,40	6,25	0,35					
IFSTTAR		6,90			3,70			6,60							
LRAiX(1)		6,83			3,44			6,47							
					3,75										
LRAiX(2)					4,10										
					4,23										
BRRC(3)	DCM	6,86	6,83	0,05	3,76	3,77	0,01	6,68	6,42	0,34					
		6,79			3,78			6,65							
BRRC(2)	Toluène	6,85	6,81	0,08	3,70	3,86	0,13	6,09							
		6,82			3,82			6,03							
TUBS(2)		6,87			4,01			6,69							
		6,70			3,90			6,28							
TUBS(2 bis)								6,89							
								6,51							

1 : Impact de la méthode avec l'utilisation du perchlor-éthylène

2 : Influence du solvant avec la machine tournante à bouteille

 : Extraction automatique et centrifugation

 : Machine tournante à bouteille

 : Extraction à chaud

 : Dissolution du bitume par agitation à froid

Norme en 12697-1 : teneur en liant soluble

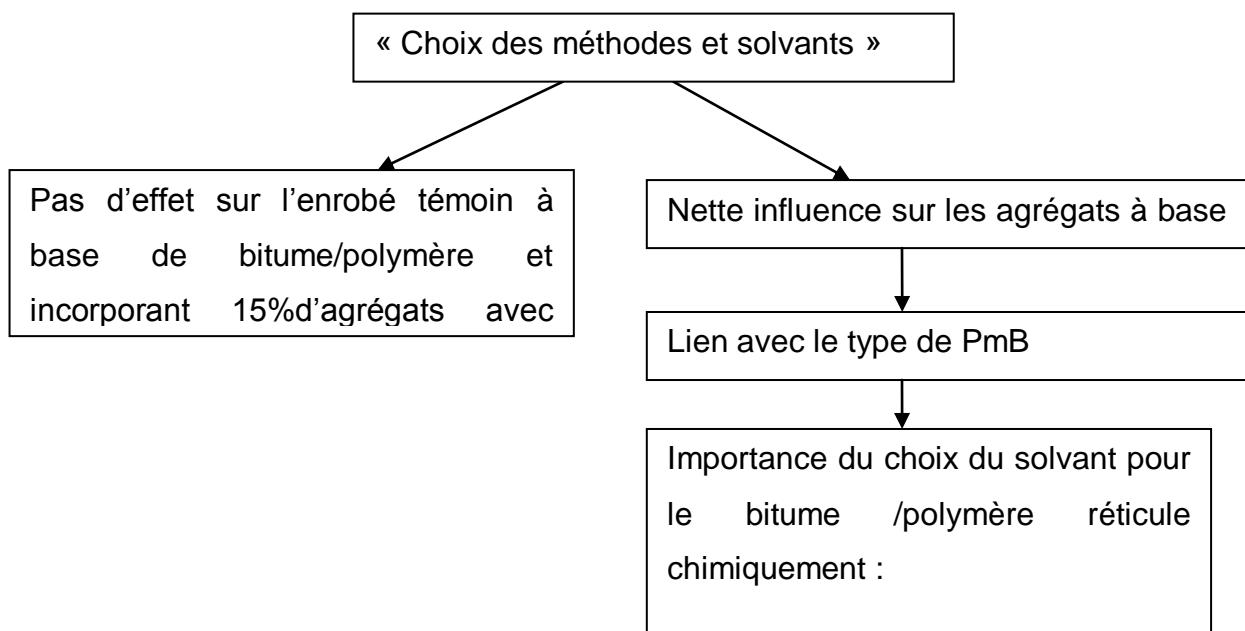


Figure: Analyse des résultats en fonction des méthodes et solvants utilisés

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Importance du choix du couple méthode d'extraction /solvant utilisé

Résultat très dispersés pour la mesure de teneur en liant soluble d'un agrégat (lié au degré de vieillissement du bitume, combiné avec la présence éventuelle de polymère)

Méthode d'essai EN 12697-1 à préciser pour les mélanges aux liants modifiés par des polymères

- Nécessité de mettre en place un essai croisé avec plus de participants et plus de répétitions par analyse
- Analyse croisé (plan d'expérience) de l'influence de chaque paramètre défini dans la méthode d'essai :
 - Etude de L'influence des différents solvants avec une méthode donnée
 - Etude de l'influence des différences méthodes avec un solvant donné

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT	i
LISTE DES TABLEAUX.....	iv
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES PHOTOS	vi
LISTE DES ABREVIATIONS.....	vii
PARTIE.1: ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES	4
CHAPITRE 1. GENERALITES SUR LE PETROLE	5
I. GENESE DU PETROLE [1].....	5
I.1. THEORIES ORGANIQUES.....	5
I.2. FORMATION.....	7
I.2.1. EROSION.....	7
I.2.2. SEDIMENTATION ET MIGRATIONS.....	8
I.2.3. PIEGES [03], [12], [04], [05]	9
I.2.4. GISEMENTS	11
II. RESERVES MONDIALES [09], [19].....	12
III. PETROLES NON CONVENTIONNELS [05].....	13
III.1. LES TIGHT OILS	15
III.2. LES PETROLES LOURDS OU EXTRA-LOURDS	15
III.3. LES SABLES BITUMINEUX [18]	16
III.4. LES SCHISTES BITUMINEUX	16
III.5. LES PETROLES DE SCHISTES (Oil in shales, shalyoil).....	17
III.6. LES GRES BITUMINEUX	17
IV. SPECIFICATION ET CLASSIFICATION DE GRES BITUMINEUX	17
IV.1. SPECIFICATION [08], [05].....	17
IV.2. CLASSIFICATION [14], [15], [16].....	18
V. GISEMENT DE BEMOLANGA.....	19

V.1. HISTORIQUE DE GRES BITUMINEUX [6], [7],[17]	19
V.2. RESERVES [2].....	20
VI. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET LOCALISATION DU GISEMENT 21	
VI.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE [1]	21
VI.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONALE DE BEMOLANGA	24
VI.3. METHODE D'EXPLOITATION [10], [11], [12], [13]	24
CHAPITRE 2. PRESENTATION DE L'OMNIS	26
I. HISTORIQUE : LES TRAVAUX DE L'OMNIS	26
II. MISSIONS DE L'OMNIS	26
III. ORGANIGRAMME STRUCTUREL DE L'OMNIS	28
IV. DEPARTEMENT DU LABORATOIRE [28]	29
CHAPITRE 3. LES TRAVAUX EFFECTUES SUR LE GRES	30
I. DEFINITION	30
II. TYPES D'EXTRACTION	30
II.1. L'EXTRACTION DES SABLES BITUMINEUX DE CANADA ET DE VENEZUELA [20], [21].....	31
II.1.1. PAR EXTRACTION MINIERE DITE « A CIEL OUVERT »	31
II.1.2. PAR EXTRACTION IN SITU OU THERMIQUE	32
II.2. PROCEDE A MADAGASCAR.....	32
II.2.1. ESSAI DE SEPARATION BITUME-GRES [22].....	32
A. PROCEDE DE LAVAGE A L'EAU CHAUDE [23].....	33
a. Broyage	33
b. Décapage du sable - Malaxage	33
c. Le mixer	33
d. Appareil de lavage	33
e. Décanteur – Concentration des fines.....	34
f. Description technique d'une usine de separation (1966) [24]	35

B. PROCEDES THERMIQUES [25]	39
a. Procédé LURGI RUHRGAS (LR).....	39
b. Unité pilote à ESSEN RFA (5 tonnes/jour en 1981) [25].....	40
C. PROCEDE D'EXTRACTION AU SOLVANT [25].....	41
a. Description du procédé	41
b. Unité pilote (Terni)	42
PARTIE.2: ETUDES EXPERIMENTALES	44
CHAPITRE 1. CARACTERISTIQUES DU GRES BITUMINEUX DE BEMOLANGA 45	
I. ASPECT PHYSIQUE DU GRES [30]	45
II. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DU GRES BITUMINEUX [30] 45	
III. CARACTERISTIQUE DU BITUME DE BEMOLANGA.....	46
a. COMPOSITION CHIMIQUE DU BITUME EXTRAIT (%POIDS) ...	46
b. CARACTERISTIQUE PHYSICO-CHIMIQUE DU BITUME DEBEMOLANGA	46
c. CONSTITUTION GEOCHIMIQUE DU BITUME DE BEMOLANGA [31]47	
d. PROPRIETES RHEOLOGIQUES DES BITUMES EXTRAITS [31] 47	
CHAPITRE 2. ANALYSE DE GRES BITUMINEUX DE BEMOLANGA.....	48
I. TENEUR EN BITUME	48
I.1. MATERIEL ET APPAREILLAGE.....	48
I.2. SOLVANT	48
I.3. METHODOLOGIE	49
a. Préparation de l'échantillon :.....	49
b. Extraction à l'appareil SOXHLET :	50
c. ROTAVAPOR.....	51

d. Etuvage.....	52
e. RESULTATS DES EXTRACTIONS	52
II. ANALYSE DE RESIDU	53
II.1. ETUDE GRANULOMETRIQUE	53
a. Tamisage	53
b. Système graphique adoptée [32]	53
c. Courbe granulométrique	54
II.2. RESIDU CARBONE CONRADSON.....	55
a. Détermination du résidu Conradson :	55
b. Mode opératoire :.....	55
c. Résultat analytique.....	56
d. Calcul :.....	57
II.3. TENEUR EN CENDRE	57
a. Mode opération :.....	57
b. Résultat analytique :	58
III. RESULTAT ANALYSE COMPLETE : ECHANTILLON BEMOLANGA CARRIERE DRIEZ	59
IV. ANALYSE MINERALOGIQUE	61
PARTIE.3: PERSPECTIVES ET IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT.....	62
CHAPITRE 1. POSSIBILITE DE VALORISATION DU GRES BITUMINEUX	63
I. GENERALITE.....	63
I.1. FABRICATION DE PETROLE [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [47] 63	
I.2. LA TRANSFORMATION DU BITUME EN PETROLE [41] [42] [43] [44] 65	
II. UTILISATION DIRECTE DES GRES BITUMINEUX EN HYDROCARBURE [45] 65	
II.1. DELAYED COKING (COKEFACTION RALENTIE) [45].....	65

a. Application	65
b. Description.....	65
c. Condition de fonctionnement.....	66
d. Rendement	66
e. Installation industrielle.....	67
II.2. SCHEMA DE FABRICATION (DECEMBRE 1960) [46]	67
III. UTILISATION DU BITUME EN LIANT HYDROCARBONE [26]	69
III.1. ORIGINE DES BITUMES.....	69
III.2. DEFINITION [26].....	69
III.3. PROCEDE DE FABRICATION	70
III.4. STRUCTURE COLLOÏDALE DES BITUMES [26]	70
III.5. DIAGRAMME TERNAIRE DE REPRESENTATION DES BITUMES [26]	
71	
IV. BITUME ROUTIER [26]	72
IV.1. PROPRIETES DES BITUMES.....	72
REMARQUE :	72
IV.2. MOUILLAGE-ADHESION	73
IV.2.1. Mouillage	73
IV.2.2. Adhésion.....	76
IV.3. CARACTERISATIONS DE BITUME ROUTIER	77
IV.4. LES GRANDES CATEGORIES DE BITUMES ROUTIERS [26]	77
IV.4.1. Bitumes pour enrobés à chaud [26]	77
IV.4.2. Bitume pour émulsion [26]	78
a. Définition.....	78
b. Principaux emplois des émulsions de bitume :	78
IV.4.3. Bitumes fluidifiés [26].....	78
V. UTILISATION DIRECTE DES GRES BITUMINEUX EN REVETEMENT ROUTIER [26] [27]	79

V.1. UTILISATIONS PRATIQUES EN REVETEMENT STANDARD	79
V.1.1. Les enduits superficiels	79
V.1.2. Les sand-asphalts (sable-bitume) [26].....	79
V.1.3. Les enrobés denses à chaud (EDC).....	80
V.2. MISE EN ŒUVRE DE EN REVETEMENT STANDARD [26].....	81
V.2.1. ESSAIS SUR UNE PLAQUETTE	81
Mode opératoire :	81
V.2.2. ESSAIS SUR SOL	83
a. Dimensionnement des trous	83
b. Mode opératoire.....	84
c. Résultats	84
CHAPITRE 2. ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX	86
I. ETUDES D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX (EIE).....	86
I.1. INTRODUCTION.....	86
I.2. DEFINITION.....	86
I.3. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL (EIE)	87
I.3.1. Définition d'une Etude d'Impact Environnemental :	87
a. Les analyses de l'état initial du site	87
b. Les analyses des impacts	87
I.3.2. Cycle de vie D'UN PRODUIT	88
II. EVALUATION DES IMPACTS	90
II.1. MILIEU PHYSIQUE.....	90
II.1.1. Impacts sur l'air.....	91
II.1.2. Impacts sur les ressources en eau.....	92
II.1.3. Impacts sur le sol et le sous-sol	94
II.1.4. Impacts des Bruits.....	95
II.2. MILIEU BIOLOGIQUE.....	97

II.3. MILIEU HUMAIN	98
III. GESTION ENVIRONNEMENTALE ET METHODES DE PREVENTION DES RISQUES	99
OBJECTIFS.....	99
MESURE D'ATTENUATION ET DE PREVENTION DE RISQUE ET DANGER	99
III.1. PLANIFIER LES OPERATIONS	99
III.2. MESURES DE REHABILITATION APRES EXPLOITATION	100
III.2.1. Définition de la réhabilitation	100
III.2.2. Mesures de réhabilitations	100
III.3. MESURE DE PREVENTION ET D'ATTENUATION.....	101
III.3.1. Mesure de prévention	101
III.3.2. Les mesures d'atténuation de l'environnement.....	101
IV. LA REMISE EN ETAT DU SITE	101
CONCLUSION.....	103
BIBLIOGRAPHIE	104
WEBOGRAPHIE	107
ANNEXES	CVIII

Titre :

« CONTRIBUITION A L'ETUDE D'EXTRACTION ET DE VALORISATIONS DU GRES BITUMINEUX DE BEMOLANGA »

Nombre de pages	:	103
Nombre de tableaux	:	24
Nombre de figures	:	23
Nombre de photos	:	19

RESUME

La zone de Bemolanga recèle d'important gisement de bitume sur une superficie de plus de 600km2. La réserve est estimée vers les années 80 à plus de 3.10^9 tonnes de bitume.

Les échantillons des grès bitumineux prélevés de Bemolanga se caractérisent par leur forte viscosité : 1012cSt et 1187cSt ; par leur densité comprise entre 10 et 22,3°A.P.I : 14,346°A.P.I et 17,025°A.P.I. ; et en faible quantité d'eau de 0,072% et de 0,050%.

Le bitume de Bemolanga est constitué de : 27% d'asphaltenes ; 28% de résines ; 45% d'huiles. La teneur de bitume moyenne est de 9.22%, le résidu Conradson est de 99.79% et la teneur moyenne en cendre est de 0.8749%.

La valorisation dans le cadre du traitement de bitume du grès bitumineux de Bemolanga peut fournir: coke:48.900t /an; Gasoil:20.500t/an; Pétrole lampant : 9.500t/an ; Essence ordinaire :26.100t/an ; Supercarburant :9.500t/an ; Butane :3.100t/an ; Propane :6.600t/an ; Fuel-gaz :25.700t/an.

Mots clés : Grès- Bitume-Bemolanga-pétrole-Extraction-valorisation

SUMMARY

The Bemolanga deposit is known as among the biggest sandstone deposit in the world within its more than 600 km2 delimited area.

The crude oil samples were digged in Bemolanga distinguished by its heavy viscosity: 1012cSt and 1187cSt; through its density contains 10 and 22, 3°A.P.I: 14,346 and 17,025%; from water slight quantity of 0,072% and 0,050%.

Bemolanga bitumen consists of: 27% of asphaltenes and 28% resin, 45% of oils. The average bitumen content of 9.22%, the Conradson residue of 99.79% and the average ash content of 0.8749%.

Enhancement in the treatment of bitumen from oil sandstone Bemolanga can provide: coke: 48.900t / year; Diesel: 20.500t/an; Kerosene: 9.500t/an; ordinary Species: 26.100t/an; Premium Fuel: 9.500t/ year Butane: 3.100t/ year; Propane: 6.600t/ year; Fuel-gas: 25.700t/ year.

Keywords: sandstone-Bitumen-Bemolanga-oil-extraction-recovery

Auteur: TAHINJANAHARY Fetimamy

Telephone: +261 33 13 134 63 / . +261 34 10 662 57

Email: fetimitia@gmail.com