

SOMMAIRE

INTRODUCTION

PARITE I: GENERALITES

- Chapitre I : Géologie du bassin sédimentaire de Morondava
- Chapitre II : Situation géologique du terrain dans le bassin sédimentaire de Morondava
- Chapitre III : Généralité sur les matières organiques
- Chapitre IV : Origine et mode de formation de l'Uranium

PARTIE II: METHODOLOGIE DE DETERMINATION DE TAUX DES MATIERES ORGANIQUES ET DES ELEMENTS CHIMIQUES PRESENTS DANS QUELQUES ECHANTILLONS DU SITE ETUDIE

- Chapitre I : Présentation des méthodes adoptées et Etude d'influence des matières organiques sur l'Uranium
- Chapitre II : Analyses granulométriques
- Chapitre III : Détermination de taux de CaCO_3 par Calcimétrie de Bernard
- Chapitre IV : Analyse de taux de matières organiques et Analyse des éléments en traces par ICP-MS

PARTIE III : RESULTATS

- Chapitre I : Résultats des analyses granulométriques
- Chapitre II : Résultats de la calcimétrie de Bernard
- Chapitre III : Taux des matières organiques et Résultats des analyses chimiques par ICP-MS

PARTIE IV : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS

- Chapitre I : Nature de l'Uranium et potentialité des éléments en traces
- Chapitre II : Les matières organiques existant dans quelques échantillons du site étudié et Recommandations

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

LISTE DES ABREVIATIONS

AFNOR	: Association Française de la NORmalisation
AMP	: Indice et identification des échantillons
CaCO ₃	: formule chimique de Carbonate de Calcium.
CEA	: Commissariat de l'Energie Atomique
ICP-AES	: Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
ICP-MS	: Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry
NaCl, HCl	: respectivement Chlorure de Sodium ou Sel et Acide Chlorhydrique
OMNIS	: Office des Mines Nationales et des Industries Stratégiques.
pH	: Potentiel d'Hydrogène

Les Unités :

°C	: Degré Celsius
h	: Heures
K	: Degré Kelvin avec 0°C=273K
m	: Mètres
mm	: Millimètres
mg	: Milligrammes
ppm	: partie par million

Les éléments chimiques :

Ag, As, Ce, Co, Cr, Cu : respectivement Argent, Arsenic, Césium, Cobalt, Chrome, Cuivre
Fe, Mo, Nb, Ni, Pb, Sr : respectivement Fer, Molybdène, Niobium, Nittrium, Plomb,
V, Y, Zn, Ta, Th, U : respectivement Vanadium, Yttrium, Zinc, Tantale, Thorium,
Uranium

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Teneur moyenne en Uranium des types de roches

Tableau 02 : Les principaux minéraux d'Uranium

Tableau 03 : Minéralisations uranifères à Madagascar

Tableau 04 : Classification des roches selon la valeur de K_i

Tableau 05 : Résultat des analyses granulométriques

Tableau 06 : Les paramètres granulométriques

Tableau 07 : Résultat de calcul des indices granulométriques

Tableau 08 : Résultat de l'analyse des matières organiques

Tableau 09 : Les éléments chalcophiles

Tableau 10 : Résultat du teneur en élément Ta, Nb, Y, As, Ce

Tableau 11 : Résultat du teneur en élément Th, U, V, Pb

LISTE DES FIGURES, PHOTOS ET GRAPHES

FIGURES :

Figures n°01 : Echelle stratigraphique

Figure n°02 : Localisation et division du bassin de Morondava

Figure n°03 : Zones Uranifères à Madagascar

Figure n° 04 : Flow chart pour les démarches adoptées

Figure n° 05 : Schéma montrant les différentes pressions sous l'effet de HCl

Figure n° 06 : Exemple d'exploitation in situ

PHOTOS :

Photo n°01 : Tamiseuse

Photo n°02 : Calcimètre de Bernard et Balance de précision

Photo n°03 : Appareil d'analyse d'ICP-MS

GRAPHES :

Graphe n°01 : Courbes obtenues à partir des analyses granulométriques

Graphe n°02 : % CaCO₃ des échantillons de la surface

Graphe n°03 : % CaCO₃ des roches de tranchée 01

Graphe n°04 : % CaCO₃ des roches de tranchée 02

Graphe n°05 : % CaCO₃ des roches de tranchée 03

Graphe n°06 : Nuage des points de Na, Co, Zn, Fe

Graphe n°07 : Dispersion des éléments Y et Ce

REFERENCES

- [1] : H. Besairie en 1972 et Eugène RAZAFIMBELO en 1987
- [2] : Pierre Chaperon et Joël Danloux, 1993
- [3] : Eugène RAZAFIMBELO en 1987
- [4] : Henri Besairie,1972
- [5] :Zadovska et autres ,2008
- [6] : Hering et Perio,1952, Perio,1953 a,b
- [7] : Moore, 1954
- [8] : Turner- Peterson,1985 ;Turner –Peterson et Fishman,1986

INTRODUCTION

Dès la découverte de l'énergie radioactive, l'offre et la demande en matériaux radioactifs ne cesse d'augmenter sur le marché international. L'un des éléments le plus prisés et demandés est l'Uranium. Il est généralement utilisé dans les Centrales nucléaires ainsi que dans la médecine et d'autres disciplines.

L'épuisement et l'augmentation du prix des énergies fossiles est une tendance lourde de plusieurs décennies renforcée par la crainte des émissions de gaz à effet serre dans les couches d'ozones. Les Pays développés cherchent des alternatives au Charbon, au pétrole et au Gaz naturel. L'énergie nucléaire, par sa densité un million de fois supérieure à celles des énergies fossiles, en est le principal. Nombreux Pays, comme la France, la choisissent pour des raisons économiques ou stratégiques.

Madagascar possède des différents gîtes uranifères dans la formation cristalline et dans la couverture sédimentaire. L'OMNIS, une entité étatique, spécialiste dans l'exploration et la recherche des ressources stratégiques (pétrole, minerais radioactifs, métaux rares), entreprend des travaux d'exploration et de recherche des indices pétroliers dans un terrain qui contient des gîtes uranifères dans le bassin sédimentaire de Morondava.

Plusieurs Chercheurs se posent des questions sur le mode de formation de l'Uranium dans un tel environnement. Durant mon stage au sein du Laboratoire de l'OMNIS, j'ai effectué une étude d'un site dans la partie ouest de Madagascar (pour des raisons de confidentialité) pour déterminer LA RELATION ENTRE LES MATIERES ORGANIQUES ET LA FORMATION OU GENESE DE L'URANIUM DANS LE BASSIN DE MORONDAVA.

L'objectif du présent travail est de voir la possibilité de relation entre la formation de l'Uranium et les matières organiques qui s'y trouvent.

En effet, une étude préliminaire sur la généralité du terrain est indispensable dans la première partie, puis nous avons réalisé des différents types d'analyses dans la deuxième partie, à savoir : la calcimétrie de Bernard, Analyses granulométriques, Analyses des matières organiques, analyses des éléments chimiques de traces. Dans la troisième partie, nous allons donner les résultats puis dans la dernière partie du travail, on interprétera et discutera les résultats d'analyse des échantillons.

PARTIE I

GENERALITES

Chapitre I : GENERALITES SUR LE BASSIN SEDIMENTAIRE DE MORONDAVA

I. Définition d'un bassin sédimentaire

Même si des sédiments peuvent se déposer pratiquement dès leur érosion, leur devenir est en général de terminer leur voyage au sein d'un bassin sédimentaire. Un bassin sédimentaire ne se forme que là où des sédiments peuvent s'accumuler. Cette évidence recouvre un concept majeur : l'accumulation des sédiments nécessite une création d'espace, résultat soit d'un enfoncement de la base du bassin (subsidence), soit d'une hausse du niveau marin.

II. Les bassins sédimentaires de Madagascar

Madagascar est constituée de roches cristallines qui affleurent sur près de 2/3, le reste qui est en partie de l'Ouest est recouvert par une couverture sédimentaire. [1]

On a quatre (04) bassins sédimentaires dans le côté Ouest et l'un dans le Côte Est :

- Le bassin d'Ambilobe
- Le bassin de Majunga
- Le bassin de Morondava
- Le bassin de la côte Est

III. Localisation du bassin de Morondava

Morondava est situé dans la partie Ouest de Madagascar dans la Région de Menabe sur la route nationale numéro 34.

Le bassin de Morondava s'étend sur un vaste territoire de 1000 Kilomètre de Cap Saint André jusqu'au Cap Sainte Marie.

Selon Henri Besairie dans son ouvrage qui s'intitule Géologie de Madagascar (Couverture Sédimentaire) en 1954, le bassin de Morondava peut être divisé en 3 parties :

- Le Nord du Bassin
- Le Centre du bassin
- Le Sud du Bassin

IV. Végétations, Climat

La végétation est représentée par une savane arbustive et, vers l'ouest, par la forêt tropophile aride [2]. C'est une zone où le climat est semi-aride. Le changement des genres et espèces de végétaux durant le Karroo est rapide. Il est lié à l'évolution progressive des conditions climatiques glaciaires à arides.

Du Permien au Trias supérieur, On a des polymorphes terrestres : spores et grains de pollen [3].

V. Contexte géologique

Dans le bassin de Morondava, les séries sédimentaires sont présentes depuis le Carbonifères supérieur jusqu'à l'actuel [1]. Elles constituent deux principaux ensembles lithostratigraphiques :

❖ *Les formations Karroo*

La formation Karroo d'âge Permo-carbonifère au Jurassique inférieur contenant d'épais sédiments continentaux transgressifs et discordants sur le socle cristallin, celle-ci est marquée par des phases tectoniques brèves mais intenses.

Les conglomérats de base de la Sakamena et du Makay présentent l'aspect des sédiments provenant d'un *rabotage et de l'érosion des reliefs proches* [3]

Le bassin de Morondava de formation Karroo est subdivisé de 3 groupes par des discordants :

3- *Sakoa à la base*

Le groupe de la Sakoa n'est connu que dans la partie Sud du bassin où elle a été définie. Sa puissance maximale à l'affleurement est de 2000 mètres [4]

2- *Sakamena dans la partie moyenne*

Le groupe de la Sakamena discordant au-dessus du groupe de la Sakoa d'âge Carbonifère supérieur à Permien inférieur, présente une continuité de faciès remarquable en affleurement. Cet ensemble de formation est caractérisé par une alternance régulière de grès parfois grossiers, d'argiles schisteuses et de grès psammatiques à septarias ou nodules de calcaires.

1- *Isalo*

Nous allons voir les formations d'Isalo dans le chapitre II.

❖ *Les formations Post- Karroo*

Le terme « Post Karroo » désigne dans le bassin de Morondava, les formations sédimentaires allant du Jurassique à l'actuel. Ce sont des formations marines dont la lithologie et la puissance sont marquées par des variations rapides tant verticales que latérales. Des lacunes stratigraphiques sont en effet bien reconnues. Les affleurements sont limités.

1- Le Jurassique

Formé par le calcaire intercalé d'une séquence gréseuse de faciès du site étudié puis par des marnes d'une épaisseur de 100 à 200 mètres en affleurement.

2- Le Crétacé

Prédominance des marnes passant latéralement à des argiles, puis formé par des dépôts subcontinentaux dominantes et une série marine très fossilifère à dominante marno-gréseuse.

3- Le Tertiaire

Des dépôts des calcaires marins, on peut aussi observer des passées gréseuses ainsi que des argiles rouges.

VI. Hydrogéologie

La MORONDAVA prend sa source dans le massif du Makay. A l'aval d'ANKILIZATO, elle traverse la falaise du complexe gréso-marneux par une vallée encaissée, puis s'étale, à la sortie, dans un lit large et très mobile. La pluviométrie moyenne sur le bassin, compris entre l'isohyète 1100 au nord-est et l'isohyète 750 au sud-est, est voisine de 950[2].

VII. Géologie structurale du bassin de Morondava

La couverture sédimentaire présente une disposition monoclinale de pente Ouest. Elle a été fracturée selon deux directions majeures convergentes 'dites "Côte Est" et "Mozambique". Les mouvements les plus importants datent du Karroo mais d'autres bases sont poursuivies du Miocène jusqu'à nos jours, L'alternance stratigraphique de dépôts continentaux et marins résulte de l'oscillations relatives localisées et non synchrones du niveau des mers, en relation avec des gauchissements partiels du socle [3].

Ère	Période		Epoque		Etage	Age (en Ma)	
Cénozoïque	Quaternaire		Holocène			0	
			Pléistocène			-0,01	
	Tertiaire	Néogène	Pliocène	Sup.	Gélaclen	-1,8	
				Moy.	Plaisancien	-3,4	
				Inf.	Zancéen	-5,3	
			Miocène	Sup.	Messinien	-6,5	
					Tortonien	11	
				Moy.	Serravallien	-14,5	
				Langhien	-16		
		Paléogène	Oligocène	Eocène	Inf.	Burdigalien	-20
						Aquitanien	-23,5
						Chattien	-28
	Rupélien			-34			
	Eocène			Sup.	Priabonien	-37	
				Moy.	Bartonien	-40	
			Inf.	Lutétien	-46		
	Paléocène		Yprésien		-53		
Thanétien			-59				
Danien			-65				
Mésozoïque ou secondaire			Crétacé	Supérieur	Maastrichtien		-77
		Campanien			-83		
	Santonien				-87		
	Coniacien				88		
	Turonien				-91		
	Cénomanién				-96		
	Inférieur	Albien		-108			
		Aptien		-114			
		Barrémien		-116			
		Hauterivien		-122			
	Jurassique	Supérieur	Valanginien		-130		
			Berriasien		-135		
			Tithonien		-141		
			Kimméridgien		-146		
			Oxfordien		-154		
Callovien			-160				
Moyen		Bathonien		-167			
		Bajocien		-176			
		Aalénien		-180			
		Toarcien		-187			
Trias	Inférieur	Pliensbachien		-194			
		Sinémurien		-201			
		Hettangien		-205			
		Rhétien		-220			
	Supérieur	Norien		-230			
		Carnien		-235			
		Ladinien		-240			
		Anisien		-245			

Cycle orogénique alpin

Figure 1 : Echelle stratigraphique, source : BRGM, 2003

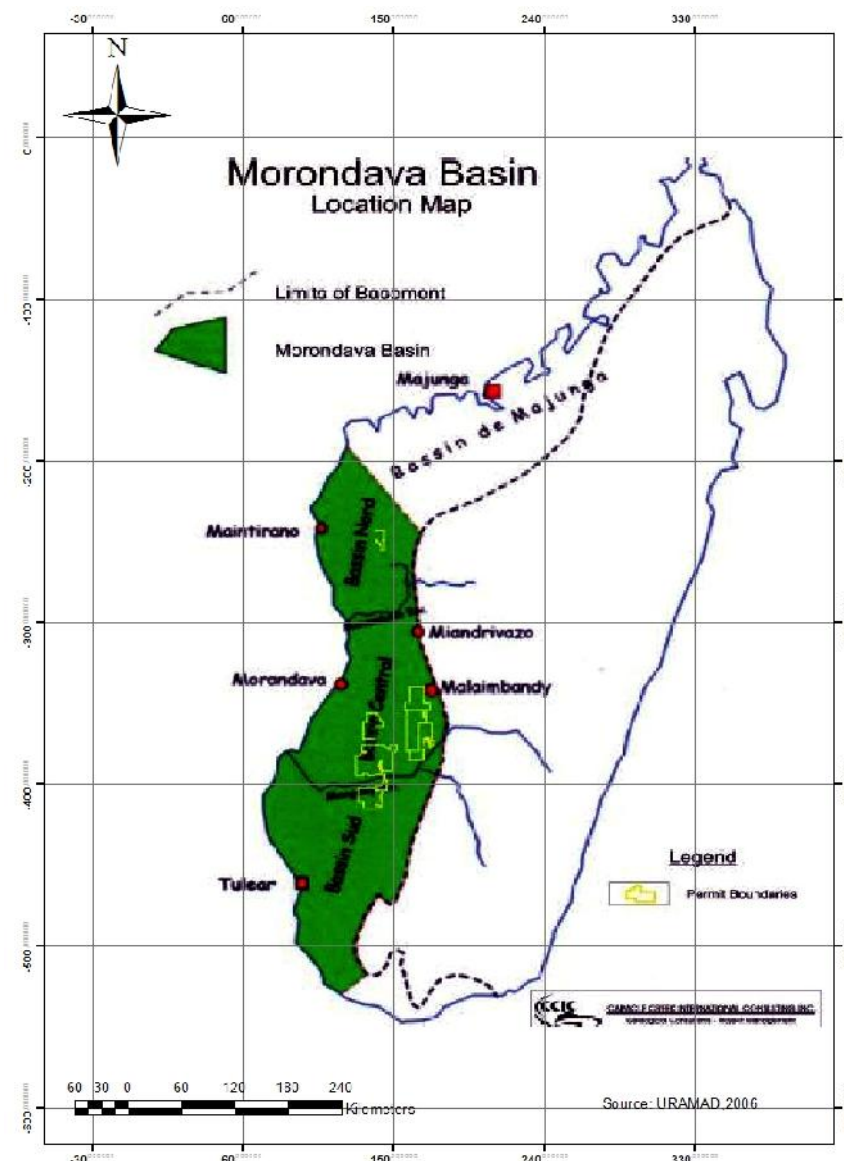


Figure 2 : Localisation et division du bassin, source : URAMAD, 2006

Chapitre II : SITUATION GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE DANS LE BASSIN SEDIMENTAIRE DE MORONDAVA

I. Contexte géographique

C'est une zone de Massif montagneuse dans la région de Menabe. Situé au Nord du fleuve de Mangoky, c'est un massif gréseux dominant à l'Est de la dépression Permo-triassique où coule la rivière de Sakeny à partir du village Mandronarivo.

II. Aperçu géologique

La zone d'étude est classé dans le groupe de l'Isalo[1]. Un groupe qui a comme formation composée par des roches détritiques.

L'Isalo est divisé en 3 sous-groupes qui sont :

- L'Isalo I : Conglomératique forme une petite falaise dominant d'une cinquantaine de mètres de dépression Sakaménienne.
- L'Isalo II est divisée en 3 selon leurs stratigraphies :
 - L'Isalo IIa formé par des couches argilo-gréseuses et se présente en une bande à relief mou.
 - L'Isalo IIb débute par une importante falaise d'érosion suivi par un plateau creusé de vallées profondes, formé de grès blancs.
 - L'Isalo IIc débute par un ressant suivi d'un plateau de grès grossiers à teinte rouge dominante.
- L'Isalo III : De grès et calcaire entrecroisées avec des bois silicifiées

C'est l'Isalo IIb au Sud de Malaimbandy qu'on appelle Makay inférieur et IIc qu'on appelle Makay supérieur qui constituent en fait une énorme lentille gréseuse homogène [1]

III. Géologie structurale et Morphologie de la zone d'étude

Le site d'étude est traversé par une cuesta à forte dénivellation, supérieur à 200 mètres et escarpement important dans le socle supérieur à 200 m.

Dans la partie occidentale du terrain étudié s'observent deux aspects différents qui s'étalent du Sud au Nord (Corniches, Calcaires).

IV. Formation

La série des “*cuestas*” sédimentaires d’orientation sud-nord déterminant une série de plaines et plateaux délimités par des falaises plus ou moins abruptes de regard est. D’est en ouest, *se* superposent les formations sédimentaires suivantes : groupe du Karoo avec à la base les formations schisto-gréseuses et grès-argileuses de la dépression de la Sakamena, puis les différentes et puissantes formations gréseuses stratifiées de l’Isalo (massifs de l’Isalo, côtes de Lambosina), marno-calcaires et cuesta gréseuse du jurassique supérieur, formations gréseuses et grès-calcaires du crétacé (massif d’Analavelona couronné de coulées basaltiques crétacées), calcaires compacts de l’éocène formant une cuesta bien marquée. Les formations superficielles prédominantes correspondent à des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés avec des carapaces sableuses étendues (Isalo et crétacé). **(Pierre Chaperon, 1993).**

V. Tectonique

La direction structurale observée après les dépôts de la Sakamena reste toujours parallèle à la direction du socle bordant à l’Est le bassin Morondava. Le jeu de différents accidents observé dans le socle contrôle la sédimentation du site. La nature et la répartition des différents faciès sont de type rift. [3]

Chapitre III : GENERALITES SUR LES MATIERES ORGANIQUES

Dans les roches sédimentaires, la matière organique est représentée en taux et en quantité variable. Sa teneur est exprimée en pourcentage de poids de carbone organique C_{org} .

Ainsi, on peut rencontrer ce carbone organique dans les roches sédimentaires en différentes formes telles que le Kérogène, les pétroles, les charbons ou en gaz. **(Tissot et Welt, en 1984).**

I. Définition et Genèse

I-1-Définition

Le réservoir de pétrole est un mélange de solides (bitumes), de liquides (huiles) et de gaz. Sa formation résulte de l'évolution, au cours de l'enfouissement, de la matière organique piégée dans des sédiments (roches-mères). Cette matière organique à l'origine du pétrole est appelée *kérogène*.

I-2-Genèse du pétrole

La formation d'un gisement de pétrole nécessite aussi un mécanisme de *migration*. La plupart des roches-mères sont en effet des sédiments fins dont il n'est pas possible d'extraire le pétrole. Une première migration a lieu sous l'effet de la compaction des sédiments (migration primaire); ensuite, le pétrole est amené au réservoir par des drains (migration secondaire) sous l'effet de la gravité (le pétrole est moins dense que l'eau). La roche jouant le rôle de réservoir peut posséder une microporosité (sable, grès, craie, dolomie) ou une porosité en grand (calcaire). La géométrie des réservoirs peut résulter de la tectonique (anticlinaux, failles, ...) ou de la sédimentation (discontinuité,...). Enfin, pour que le pétrole demeure dans le réservoir, il faut que celui-ci soit surmonté d'une barrière imperméable. **Les roches-barrières** les plus fréquentes sont **les argiles ou les calcaires fins (boues carbonatés).**

II. Les différents types de matières organiques

Le kérogène doit sa naissance à un groupe d'organisme de petite taille qu'on appelle « Plancton » et qui s'est enfoui dans les bassins sédimentaires. Cependant, on distingue 2 types de Plancton :

- Phytoplankton : plancton végétal
- Zooplankton : Plancton animal comprenant de petits crustacés pélagiques, des foraminifères et les larves.

Les organismes planctoniques appartiennent pour la plupart à des groupes végétaux et animaux archaïques, représentés dès le début des temps primaires, qui ont pu par conséquent donner naissance aux hydrocarbures que l'on rencontre dans les terrains Cambriens et Ordoviciens.

III. Les différents paramètres pour la préservation et la transformation des matières organiques

- La profondeur du dépôt : c'est un paramètre important car l'oxydation et la décantation des particules en dépendent.
- Les propriétés physiques de la roche réservoir comme la porosité et la perméabilité
- Le taux de sédimentation car la préservation de la matière organique augmente quand le taux de sédimentation augmente.
- Les conditions d'Oxydoréduction : elle se produit quand la matière organique est en excès par rapport à la quantité de l'oxygène c'est-à-dire forte production de matière organique par les organismes et milieu pauvre en dioxygène.
- La production primaire est réalisée par les végétaux qui se développent grâce à la photosynthèse et aux nutriments présents dans les sols. Une fois le végétal mort ou la feuille morte tombée, la matière organique va être dégradée et décomposée sur le sol par des organismes (vers, larves...). Une partie de cette biomasse est incorporée dans les sols pour former l'humus. C'est cet humus qui contient les nutriments dont les végétaux vivants ont besoin pour se développer.

IV. Les différentes phases de maturation

La maturation des matières organiques est marquée par trois stades essentiels :

- ❖ Celui de la perte d'oxygène lors du début de la diagenèse,
- ❖ Celui de la genèse d'hydrocarbures liquides et gazeux, correspondant à la catagenèse
- ❖ Celui de la carbonisation avec la formation du méthane, correspondant à la métagenèse.

Les relations uranium - matière organique sont variables compte tenu des comportements très différents du kérogène au cours de ces trois stades de maturation de la matière organique dû au changement d'état d'oxydation du kérogène

Chapitre IV : ORIGINE ET MODE DE FORMATION DE L'URANIUM

I. Généralité sur l'Uranium

1. Chimie et Minéralogie de l'Uranium

L'Uranium, un élément dans la série *des actinides et radioactif* possédant 6 électrons de valence selon la configuration $5f^3 6d^1 7s^2$ qui est un métal de couleur gris, le plus lourd en trace présent sur terre. De dureté 5,5 et densité 9.

Ce métal de masse atomique 238 g/mol et de numéro atomique 92 possède 17 isotopes de nombre de masses variant entre 227 et 242 mais de même nombre de protons (92) existe à l'état naturel sous trois formes d'Oxydation.

Ce sont ^{238}U , ^{235}U et ^{234}U qui sont respectivement représentés dans la nature 99.7%, 0.718 et 0.0054%. Les autres isotopes, on peut les retrouver dans l'environnement suite à l'activité nucléaire et d'émission anthropique comme l'industrie nucléaire [5].

Chaque isotope possède *une demi-vie nucléide* distincte qui détermine leur abondance dans l'environnement. L'Uranium 238 est le plus abondant due à sa demi-vie qui est de 4,468 milliards d'années. (Jebrak et autres, 2013 ; Auger et autres, 2010)

2. Association de l'Uranium avec d'autres éléments

L'uranium est le plus souvent associé à l'oxygène mais également à des ligands inorganiques tels que SiO_4^{4-} , TiO_4^{4-} , PO_4^{3-} , AsO_4^{3-} , VO_4^{3-} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} . Les minéraux d'uranium sont répartis selon deux groupes : les tétravalents et les hexavalents. Les principaux solides sont les oxydes d'uranium. Les oxydes d'uranium contiennent parfois des quantités notables de cations autres que l'uranium. Il s'agit particulièrement de Th, Pb et Ca.[6]

Il existe un vaste groupe de minéraux d'uranium hexavalents comprenant plus de 200 espèces qui dérivent souvent de l'altération des oxydes d'uranium. Leur structure est souvent de type mica avec un clivage parfait. Ils sont souvent de couleur jaune, d'où le nom de « produits jaunes » et forment de très belles cristallisations extrêmement fragiles. On trouve ainsi des vanadates tels que la $(\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O})$ ou la tyuyamunite $(\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 5-8\text{H}_2\text{O})$ et de nombreux phosphates d'uranium dont l'autunite est le principal représentant.

3. Géochimie de l'Uranium

Une valeur récemment estimée pour la concentration d'uranium moyenne dans la Croûte continentale est de 1.42 ppm (Rudnick et Fountain, 1995). Les teneurs moyennes en

Uranium des principaux types de roches sont données dans le Tableau ci-dessous, les plus riches étant les rhyolites, les granites et les shales. Ces teneurs varient entre 0.02 ppm et 8 ppm et sont du même ordre de grandeur que les teneurs mesurées dans les sédiments charriés par les grands fleuves mondiaux.

Type de roche	Teneur en U(ppm)
Granites	3,50
Rhyolites	8,00
Gabbros	0,84
Basaltes	0,60
Péridotites	0,02
Grès	1,50
Shales	3,70
Carbonates	2,20
Evaporites	0,10

Tableau 1 : Teneur moyenne en Uranium des types de roche, D'après Dalhkamp, 1993

II. Les différents types de Minéraux Uranifères

Il existe deux types de minéraux d'Uranium (**selon la CEA, 1954**) qui est classé selon leur mode de formation et qui sont : minéraux Uranifères Hypogènes et minéraux Uranifères Supergènes

1-Les minéraux Uranifères Hypogènes

Endogènes ou primaires, ils s'individualisent en corrélation avec les phénomènes profonds de l'écorce terrestre. Ce sont des constituants des séries métamorphiques, des roches dites « éruptives » et surtout des formations spéciales qu'on considère comme dérivées de l'évolution en profondeur de ces dernières à la suite de leur mise en place.

2-Les minéraux uranifères supergènes

Exogènes ou secondaires, ils se développent en présence des agents atmosphériques, aux dépens des produits hypogènes ramenés en surface par le jeu combiné de l'orogénèse et de l'érosion, et, plus immédiatement, des affleurements des gisements hypogènes. Tous ces minéraux présentent une caractéristique presque absolue : ils se sont formés en présence d'oxygène en excès.

Les minéraux supergènes comprennent des oxydes saturés, isolés ou combinés à des anions divers : Carbonates, silicates, vanadates, ces deux derniers jouant un rôle de premiers plans dans le cas des minerais uranifères.

III. Les types de minéraux d'Uranium existant à Madagascar

1. Les différents types de minéraux d'Uranium

Il existe plusieurs types de minéraux d'Uranium dans le monde, les principaux types de minéraux découverts sont récapitulés dans le tableau suivant :

	Minéraux	Habitus et/ou systèmes	Couleur	Clivage	Dureté	Teneur en U
MINÉRAUX PRIMAIRES	PECHBLENDE	Cubo-octaèdre	Noir-brunâtre	Pas de clivage	5 à 6	14% en Th
	URANINITE		Noir	Pas de clivage	5 à 6	Th associé à U 5.44 sans Th 5.61ThO ₂
	BETAFITE (U, Ca) (Nb, Ta, Ti) ₃₀₉ n H ₂ O	Octaèdre ou rhombododécaèdre	Brun vert	Pas de clivage	4,4 à 5	16 à 25 % (pauvre en thorium 1%)
	FERGUSONITE (Y, Er, Ce, Fe) (Nb, Ta, Ti) O ₄	Quadratique	Brun noir	Poussière blanc pâle	5,8	0 à 7%
	KASOLITE PbO, UO ₃ , SiO ₂ , H ₂ O	Orthorhombique	Jaune d'ocre	En agrégat fibroradiés	4-5	40%
	CHALCHOLITE CuO, 2UO ₃ , P ₂ O ₅ , 12H ₂ O	Minéral quadratique	Verte d'herbe	Lamelle aplaties	2	47 à 51%
	URANOTHORIANITE (U-Th) O ₂	Cubique				25 à 50%
MINÉRAUX SECONDAIRES	CARNOTITE K ₂ (UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ 3H ₂ O	Orthorhombique ou monoclinique	Jaune vif			52,8%
	CURITE 2PbO, 5UO ₃ , 4H ₂ O		Rouge orangé		4-5	61%
	AUTUNITE P ₂ O ₅ , 2UO ₃ , CaO, 12H ₂ O	Orthorhombique pseudo-quadratique	Jaune citron à jaune soufre	En masse écailleuse ou lamellaire	2-2,5	48%

FRANCEVILLITE (Ba, Pb)O, 2UO ₃ , V ₂ O ₅ , 5H ₂ O	Orthorhombique	Pléochroïse d'incolore à jaune	Suivant (001) est parfait	3	46%
---	----------------	--------------------------------------	---------------------------------	---	-----

Tableau 02 : Les Principaux minéraux d'Uranium,

Source : Jebrak, 2005 ; H.Besairie ,1966

2. La minéralisation Uranifère à Madagascar

A Madagascar on peut trouver quatre (04) types de minéralisations uranifères, à savoir :

- Les Skarns
- Les Intrusions
- La minéralisation dans le grès
- Les superficielles

Types	Roches hôtes	Minerais principaux	Teneur	Localisation
Intrusions	Pegmatites (particulièrement réparti en zones, variétés biotite)	Betafites Euxénites ; Samirésites ; Fergusonites	Environ 500 ppm U (0,05% U)	Antsirabe
Skarns	Pyroxénite ; Marbre (cipolin) ; Micaschiste ; Gneiss feldspathique ; Anorthosites	Uranothorianite	De 1000 à 10000 ppm U (0,1 à 1% U)	Tranomaro ; Fort Dauphin
Grès	Grès du Karoo continental en particulier la formation de l'IsaloII	Carnotite ; Francevillite	Supérieur à 1000 ppm U (0,1%)	Folakara ; Makay
Superficiels	Argiles lacustres et sables	Uranocircite	1000 à 4000 ppm (0,1 à 0,4% U)	Antsirabe
	Syérites granitiques avec dérivé de saprolite ; Eluvions et alluvions	Pyrochlore ; Microlite		Péninsule d'Apasindava, Ambatofinandrahana
	Placers de plage (dérivé de granite)	Monazite	Supérieur à 3000 ppm (0,3% U)	Fort Dauphin

Tableau 03 : Minéralisations Uranifères M/Car

Source : BPGRM, 2005 dans rapport de Barrett

3. L'Uranium dans la partie sédimentaire de Madagascar

L'existence de deux (02) fosses de subsidence séparées par le Horst Tsimiroro qui ont commencé à se creuser durant la période Sakamenienne et qui durant l'Isalo I se sont remplis d'une série Uniforme de grès grossiers. C'est la base de l'Isalo II (Rhétien) qui renferme des indices Uranifères.

Ils y impègrent des bancs gréseux du Jurassique inférieur d'origine continentale. Durant cette période, la subsidence marquée par une série de lexures subméridiennes s'est poursuivie d'une manière irrégulière mais rythmique et l'Isalo II présente une série de cycle irrégulier avec de dépôts alternés d'argilites et de grès. Dans cet ensemble, il a été identifié des faciès particuliers : grès d'écoulement et grès de chenalisation.

En ne considérant que la partie inférieure à indice de l'Isalo II, la CEA indique la succession des couches suivantes :

- 9-Argilites(Niveau de repère pétrolières)
- 8-Grès d'Andolotelo
- 7-Argilites et grès d'Ankisatra
- 6-Grès de Folakara
- 5-Argilites du camp CEA
- 4-Grès d'Ankaramenabe
- 3-Argilites de Mokara
- 2-Grès d'Amboloandro
- 1-Argilo pélites à lignite
- 0-Isalo I à la base : grès grossier (faciès détritique grossier)

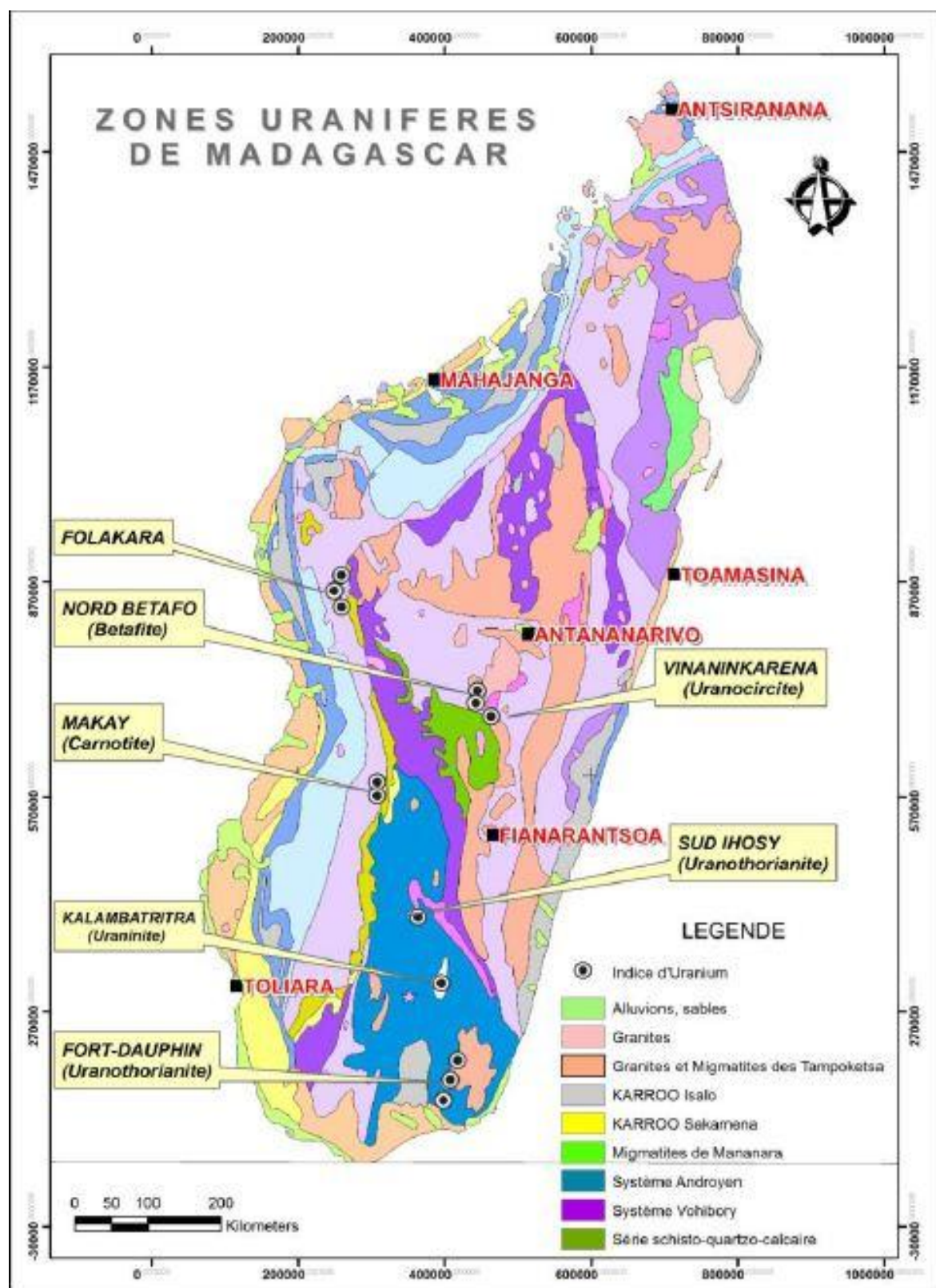


Figure03 : Les zones Uranifères de Madagascar (OMNIS, 2015)

PARTIE II:

METHODOLOGIE DE DETERMINATION DU TAUX DES MATIERES ORGANIQUES ET DES DIFFERENTS ELEMENTS CHIMIQUES PRESENTS DANS QUELQUES ECHANTILLONS EN PROVENANCE DE LA ZONE D'ETUDE

Chapitre I : LA PRESENTATION DE METHODE ADOPTEE

On a déjà effectué une étude préliminaire dans la première partie la géologie du bassin de Morondava, la situation géographique dans ce bassin, le contexte de la zone d'étude (pétrographie, stratigraphie, tectonique, géologie de l'Uranium, étude des matières organiques, processus de transformation des matières organiques).

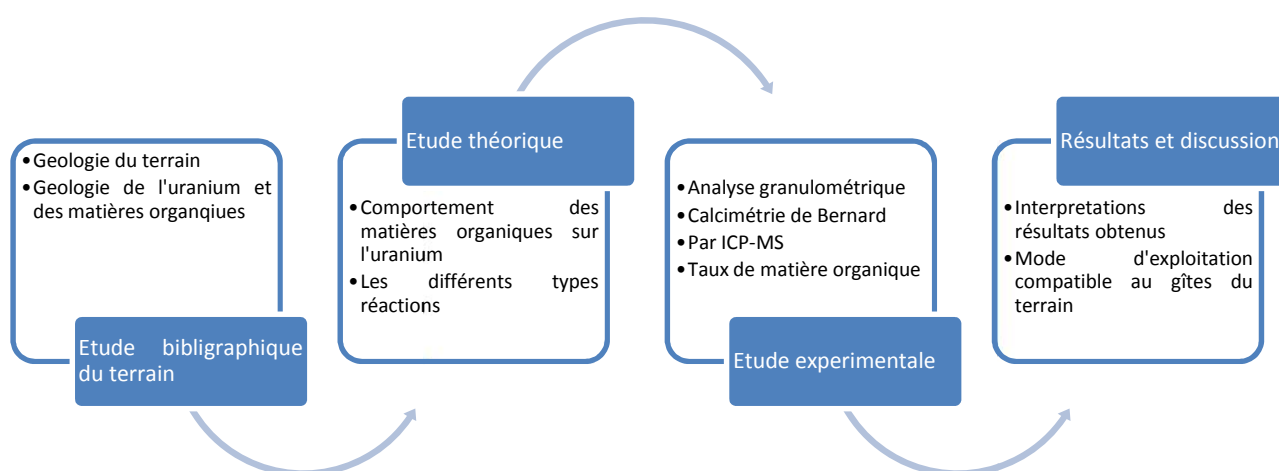


Figure 04 : Flow Chart représentant la méthodologie adoptée (**Auteur, 2018**)

Dans l'étude expérimentale, on a suivi le comportement des matières organiques sur l'Uranium ainsi que les différents types de réaction entre ces deux matières.

Ensuite, nous allons développer dans cette deuxième partie, les étapes sur la préparation mécanique des échantillons, les analyses chimiques faites sur les échantillons issus du site étudié (analyse de taux de carbonate calcium ou calcaire, des éléments en trace constituants de l'échantillon...).

Enfin, nous allons interpréter les résultats obtenus au cours des différentes analyses chimiques et discuter sur la nature, le mode de formation les propriétés de l'Uranium du site et les matières organiques.

LES INFLUENCES DES MATIERES ORGANIQUES SUR LA FORMATION DU GISEMENT D'URANIUM

Dans le processus de genèse du gisement de l'Uranium, les matières organiques jouent des rôles très importants. La présence de très grand nombre de roches riches en matières organiques dans lesquelles l'uranium peut être fortement enrichi met en évidence une telle relation : lignite, tourbes, charbons, schistes noirs, grès,... [7].

Quel que soit la source, l'Uranium est principalement transporté par des fluides aqueux.

1. Les rôles des matières organiques

Un rôle d'agent réducteur pour l'uranium est souvent attribué à la matière organique, la réduction de l'uranium transporté en solution sous la forme de complexes d'uranyle dans lesquels l'uranium est hexavalent et préservation du milieu réducteur dans l'environnement de la minéralisation. Les processus de réduction de l'uranium peuvent intervenir tout au long du cycle géochimique des matières organiques tant que celles-ci disposent d'hydrogène facilement disponible.

La matière organique, tout au long du stade diagénétique, garde un pouvoir complexant grâce à ses groupements carboxyles. La partie organique soluble dans les fluides aqueux géologiques peut être transportée par les fluides et précipiter au contact de minéraux d'uranium par réaction d'oxydoréduction recouvrant ces derniers. Elle a aussi un pouvoir réducteur grâce à la préservation de son stock hydrogéné, par contre, la faible solubilité dans les fluides aqueux des kérogènes à ce stade limite ses interactions avec l'uranium. A basse température, seuls les acides humiques jouent un rôle de transport pour l'uranium.

Lors de la catagenèse, de nouvelles interactions entre l'uranium et les matières organiques sont possibles, en particulier si les huiles générées ont la possibilité de migrer, se fait piéger puis, elles peuvent interagir avec les fluides riches en uranium en réduisant et provoquant le dépôt de ce dernier.

Lors du stade ultime, la métagenèse, pendant lequel la matière organique peut atteindre l'état de graphitoïde, des relations entre cet état de la matière organique et les minéralisations uranifères peuvent être également observées.

2. La matière organique associée au gisement d'Uranium

La matière organique est présente dans les formations sédimentaires initialement et représente donc un piège *in situ* pour des solutions riches en uranium. Des composés organiques peuvent également migrer depuis une formation sédimentaire mère (roche mère) et se concentrer

dans un piège tectonique ou une unité sédimentaire poreuse et perméable, avec lesquelles les solutions riches en uranium pourront ensuite interagir. [8]

3. Les différents types réactions entre matières organiques et l'uranium

3.1. Réaction de solubilité

Les composés organiques possédant des groupements fonctionnels organiques hydrophiles tels que carboxylate, alcoolate, amine et thiols jouent le rôle de solvant et facilitent la solubilité des composés inorganiques (par ex. uranium) dans des solutions aqueuses.

3.2. Réaction de formation de complexe

L'introduction d'un ligand organique hydrosoluble (carboxylate, alcoolate) dans une eau contenant des ions métalliques dissous (par ex. uranium) transforme ces derniers en complexes organométalliques.

3.3. Réaction d'oxydoréduction

Les composés organiques sont de puissants agents réducteurs en raison de la présence des éléments réducteurs (Carbone et Hydrogène) dans leur composition chimique. A ce titre, les composés organiques s'oxydent en réduisant à la fois le solvant de l'eau et le soluté inorganique soluble dans l'eau. Sous l'effet de la réduction, H₂O produit Dihydrogène (H₂) et le degré d'oxydation du soluté décroît. Dans le cas de l'uranium, la réduction des composés organiques peut réduire des complexes d'uranyle (VI) en complexes d'uranium (IV).

3.4. Réaction de précipitation

Lorsque la réduction du milieu réactionnel aqueux par un composé organique est importante, le produit de solubilité du soluté réduit peut être atteint et entraîne la précipitation du soluté. Par exemple, l'uranyle (VI) soluble peut être réduit en UO₂ insoluble.

Pour comprendre le comportement de l'uranium dans l'environnement, il est important de connaître sa chimie qui est complexe en raison notamment de ses différents états d'oxydation.

4. Le comportement de l'Uranium au sein de l'environnement

De manière générale, les composés d'U(IV) sont très insolubles, alors que ceux d'U(VI) présentent des solubilités plus variées. La présence de complexant en solution va contribuer à augmenter leur solubilité. Ainsi dans les eaux naturelles, l'uranium est stable sous deux états d'oxydation : l'état d'oxydation VI, correspondant à l'ion uranyle UO₂²⁺, prédomine dans les

milieux oxydés (eaux de surface), et l'état d'oxydation IV correspondant à U^{4+} , prédomine dans les milieux réduits (eaux profondes dont l'oxygène est absent).

Selon la composition du milieu (pH, anions caractéristiques du milieu, conditions d'oxydoréduction ...), l'uranium peut être présent sous différentes formes chimiques (spéciation) dont la proportion va varier selon les conditions : des complexes inorganiques de type uranium - hydroxyde (OH), uranium – carbonate (CO_3), uranium- phosphate (PO_4),....Un exemple récent montre que dans le cas de plantes poussant sur un sol riche en uranium, si l'uranium est sous forme uranium - carbonate, 5 % va être transféré à la plante, si il est sous forme uranium - hydroxyde, 20 % sera transféré et enfin si il est sous forme uranyle, le transfert est de 100%.

Des complexes organiques de type uranium - substances humiques. Les substances humiques, macromolécules organiques sont des complexant issus de la dégradation des matières organiques présentes dans les sols, que l'on retrouve dans les eaux ou dans les sols associés à des substrats minéraux.

On peut ainsi trouver des teneurs en uranium de l'ordre de quelques dizaines de microgrammes par gramme à quelques milligrammes par gramme dans des échantillons de substances humiques extraites d'eaux circulant dans des mines. De nombreuses études internationales portent sur la spéciation, c'est-à-dire la répartition des différentes formes complexées de l'uranium (notamment le développement de techniques d'analyse permettant de caractériser ces différentes formes chimiques) afin de mieux comprendre sa biodisponibilité (assimilation par les organismes vivants) et son comportement migratoire.

En particulier, les phénomènes de transport de l'uranium vont être contrôlés par des interactions entre les espèces de l'uranium présentes en solution et les surfaces minérales, qui vont conduire à diminuer la teneur en uranium en solution. Ces phénomènes de rétention ou d'adsorption à la surface de solides vont conduire à retarder le transport de l'uranium dans le milieu naturel. Il existe des conditions spécifiques (pH, potentiel redox, force ionique) dans chaque système naturel pour lesquelles la fixation de l'uranium à la surface des solides est maximale. La complexation de l'uranium par un complexant fort (par exemple, les carbonates ou les substances humiques) peut inhiber la rétention et donc favoriser la mobilité de l'uranium dans le milieu aqueux.

La valeur du retard (R) peut varier selon le matériau rencontré de quelques ordres de grandeur (ex : pour des conditions données, $R \sim 10$ pour un sable quartzeux et $R \sim 1000$ pour un sable argilo - humique c'est-à-dire riche en matières organiques). Plus la valeur de R est élevée, plus l'uranium est retenu et moins il est mobile.

Chapitre II : ANALYSE GRANULOMETRIE DE QUELQUES ECHANTILLONS VENANT DANS LA ZONE D'ETUDE DU BASSIN

I. Objectif

L'analyse granulométrique permet de déterminer les caractéristiques physiques des roches ou matériaux comme la dureté, la dispersion des grains mais aussi les environnements de dépôts et le mode de dépôt dans notre cas, on déterminera selon la taille des grains de quelques échantillons venant de la zone d'étude, le taux des matières organiques, l'environnement de dépôt et le mode de transport des roches.

II. Matériels et Mode opératoire

Plusieurs types de matériels ont été utilisés lors de la réalisation des travaux pratiques. Ce sont :

- La Balance, l'Etuve, les Tamis [on utilisera les tamis série AFNOR (en μm) 5000, 2500, 1000, 500, 250, 125, 63, PAN]
- Le tamiseur automatique dit ROTAP, appareil qui crée un mouvement ondulatoire (appliqué sur les tamis).



Photo 1 : Tamiseuse, (Auteur, Laboratoire OMNIS 2018)

Comme d'autre analyse, les échantillons nécessitent une préparation mécanique :

Pesage des échantillons ;

- Séchage des échantillons dans une étuve, à une température de 105 °C, pendant demi-journée ;
- Pesage à nouveau des échantillons ;
- Concassage dans un Concasseur à mâchoires ;
- Tamisage des échantillons pendant 10 minutes ;

- Pesage des refus dans chaque tamis ;
- Traçage des courbes granulométriques.
- Dresser un tableau contenant les résultats

III. Mode de calcul

1-Tableau des poids cumulatifs

Un tableau de résultat des analyses granulométriques comporte le poids et le pourcentage de : refus : le poids p de ce qu'on récupère dans chaque tamis après tamisage (notons r le refus) %Cumulatif passant (en %), on a la récurrence suivante

- Pour le premier tamis : c'est $cp1=100\%$
- Pour le deuxième tamis : $cp2= cp1- r1$ et ainsi de suite

Puis, on dresse les tableaux contenant les résultats

2- Paramètres et indices granulométriques

a- Indices

A partir de la courbe granulométrique, il est possible de mesurer la taille des particules correspondant à un poids donné, on utilise :

- Le Quartile $Q1$: point de la courbe, abscisse correspondant à l'ordonnée de 25%
- Le médiane $Q2$: point de la courbe, abscisse correspondant à l'ordonnée de 50%
- Le Quartile $Q3$: point de la courbe, abscisse correspondant à l'ordonnée de 75%

À partir des fractiles sont définis les Indices granulométriques. On distingue 3 types de paramètres qui rendent compte respectivement de la position de la courbe granulométrique sur l'échelle des dimensions, sa dispersion et sa forme.

Ces paramètres nous renseignent sur le mode de dépôt de l'échantillon et donc sur l'environnement de dépôt (par exemple une plage, une rivière...).

b- Paramètres de position

Il est commode d'utiliser un paramètre central de la distribution pour « chiffrer » le domaine dimensionnel auquel elle appartient. On utilise couramment 3 indices de position :

La médiane (Md ou $Q2$), taille correspondant à 50% des grains, lue directement sur la courbe cumulative.

La moyenne (M), peut-être calculée de différentes manières ; la formule la plus utilisée est :

$$M = P16 + P50 + P84 / 3$$

(P16, P50 et P84 respectivement, tailles correspondant à 16%, 50% et 84%)

Le mode ou classe modale : c'est l'abscisse du sommet de la courbe de fréquence dans une distribution gaussienne. La classe modale est tirée de l'histogramme de fréquence ; elle correspond à la classe la plus représentée. Une répartition naturelle peut admettre une ou plusieurs classes modales plus ou moins bien marquées. On parle de distribution bimodale (2 modes) ou plurimodale (3 modes et plus). Moyenne et médiane reflètent la distribution granulométrique du sédiment et l'énergie cinétique moyenne lors du dépôt du sédiment.

c- Paramètre de dispersion :

Tout en possédant la même médiane, deux répartitions granulométriques peuvent varier largement. Il est donc nécessaire d'évaluer la dispersion des répartitions ; c'est un indicateur dynamique Important qui rend compte de l'Intensité du triage des matériaux détritiques. On utilise pour cela l'indice de classement de TRASK (Sorting Index). Cet indice de classement (S_0) indique la qualité du classement. Plus S_0 est élevé, plus le classement est mauvais

$$S_0 = \frac{Q_3}{Q_1}$$

$S_0 < 2,5$ sédiment très bien classé ;

$2,5 < S_0 < 3,5$ sédiment normalement classé ;

$3,5 < S_0 < 4,5$ sédiment assez bien classé ;

$4,5 > S_0$ sédiment mal classé

d- Paramètre de forme

On a cherché à décrire de manière objective l'aspect des représentations graphiques par l'indice d'asymétrie Ski (SKEWNESS). Ce paramètre est souvent présenté comme un indicateur de l'environnement de dépôt sédimentaire. Voici la formule de Ski :

$$Ski = Q_3 \times Q_1 / (Q_2)^2$$

Valeur	Asymétrie	Interprétation
$Ski < 1$	Négative	Courant fort ; le classement meilleur du côté des sables grossiers
$Ski = 1$	Symétrie	Courant régulier ; autant de grossiers que de fins
$Ski > 1$	Positive	Courant faible ; le classement meilleur du côté des sables fins

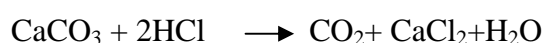
Tableau 04 : Classification des roches selon la valeur de Ski

Chapitre III : DETERMINATION DE TAUX DE CARBONATE DE CALCIUM PAR LA METHODE DE CALCIMETRIE DE BERNARD

I. Principe

Sous l'effet de l'acide chlorhydrique, le carbonate de calcium de formule chimique CaCO_3 se précipite et fait effervescence en dégageant ainsi du gaz carbonique. A partir du volume de gaz carbonique dégagé, on peut déterminer le taux de carbonate de Calcium dans une roche.

On a alors la réaction chimique :



II. Matériels et mode opératoire

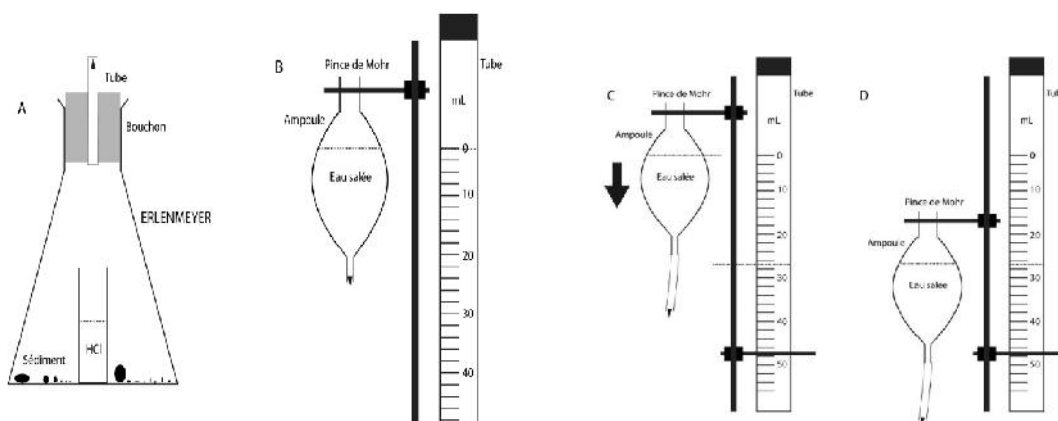
Comme matériels nous avons utilisé : 1 Erlenmeyer, 1 calcimètre de Bernard, 1 tube à essai de 10 ml, une Balance de précision, une pince



Photo 2 : Calcimètre de Bernard et Balance de précision,

Source : Auteur, Laboratoire de l'OMNIS 2018

- Préparer une solution saturée de NaCl
- Remplir l'ampoule à mi-hauteur de cette solution (si on utilise de l'eau non salée une partie du CO_2 dégagé va se dissoudre dans l'eau et le résultat sera faussé).
- Placer dans l'Erlenmeyer l'échantillon.
- A l'aide d'une éprouvette, verser dans le tube de l'HCl 10 % de 10 ml
- A l'aide d'une grosse pince, mettre en place le tube dans l'Erlenmeyer puis le reboucher
- Modifier la hauteur de l'ampoule de manière à ce que l'eau salée soit au même niveau dans l'ampoule et le tube gradué. Le contenu de l'Erlenmeyer sera alors à la pression atmosphérique.



Figures 05 : Schéma montrant les différentes pressions sous l'effet de HCl (**Analyses granulométriques CNRS, 2012**)

III. Mode de calcul de taux de CaCO_3

- L'action de l'acide chlorhydrique sur une mole de CaCO_3 (100g/mole) libère une mole de CO_2 (22,4 l soit 22 400 ml) ;
- Connaissant le volume de CO_2 dégagé (niveau final – niveau initial), faire un produit en croix pour calculer la masse de CaCO_3 attaqué ;
- Connaissant la masse de CaCO_3 et la masse de l'échantillon, faire la multiplication entre ces deux masses pour calculer le pourcentage de CaCO_3 présent dans l'échantillon.

Masse de CaCO_3		Volume du CO_2	
100 g	→	22 400 ml	
x g	→	Niveau final (lecture du volume dégagé par l'échantillon)	
→ X (g) =		$\frac{100 \text{ g} * \text{Volume moyen du CO}_2 \text{ dégagée par chaque échantillon (ml)}}{22\,400 \text{ (ml)}}$	

Masse de CaCO_3		Masse de roche	
x g	→	Masse de la roche analysée (m) g	
y g	→	Masse de total de la roche 100 (M) g	
→ Y (g) =		$\frac{\text{Masse de toute la roche } 100 \text{ g} * x \text{ (g)}}{0.5 \text{ (g) (masse de la roche analysée)}}$	

- Calcul du pourcentage du CaCO_3

$$\% \text{ CaCO}_3 = \frac{Y \text{ (g)} * 100}{\text{Masse totale de la roche (g)}}$$

Chapitre IV : ANALYSE DE TAUX DES MATIERES ORGANIQUES ET ANALYSE CHIMIQUES DES ELEMENTS EN TRACE PAR ICP

I- ANALYSE DE TAUX DES MATIERES ORGANIQUES

Il existe des différentes méthodes pour déterminer les taux de matière organique dans une roche. L'une d'entre elles est la perte au feu, de Walkley Black, qui sert à déterminer du carbone total et minéral dans un échantillon.

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons utilisé la méthode Walkley Black. Notons que la plupart des échantillons traités sont des roches carbonatées.

1- Les matériels

- Balance de précision, Creusets en porcelaine
- Dessiccateur, Four à moufle, Etuve

2- Mode opératoire

- Broyer l'échantillon à l'aide d'un pilon dans un mortier. Les fragments doivent être inférieurs à 2mm),
- Sécher l'échantillon pendant 16 h à 150°C,
- Nettoyer les Creusets de porcelaines, les chauffer au rouge et les laisser dans un Dessiccateur, peser le Creuset à vide,
- Ajouter le sédiment (max 10 grammes) et peser à nouveau le creuset rempli,
- Calciner 16 h dans un Four à moufle à 375°C,
- Laisser refroidir dans un Dessiccateur et peser le creuset avec les cendres.

3- Calcul du teneur en matière organique

Les résultats sont calculés à l'aide des équations suivantes :

$$\%MO = \frac{p_1 - p_0 - p_2 - p_0}{p_1 - p_0}$$

Avec Po : la masse du creuset à vide

P1 : la masse finale

P2 : la masse du creuset contenant de la cendre

II- ANALYSE CHIMIQUES DES ELEMENTS EN TRACE PAR ICP

1- Objectif et Matériels

Cette méthode a été adoptée dans le but d'analyser la composition chimique d'un matériau ou roche en trace (éléments en traces). Les sources de plasma couplées par induction (sources ICP) peuvent être associées soit à un spectromètre d'émission atomique (spectrométrie de rayonnements visibles), on parlera alors d'ICP-AES, soit avec un spectromètre de masse, il s'agit alors d'ICP-MS. Dans les deux cas le processus d'excitation est le même, une flamme de plasma d'argon dont les régions internes sont à des températures supérieures à 10 000 K. Ces instruments sont basés sur les propriétés ionisantes d'un plasma d'argon qui permet :

- avec l'ICP-AES, la mesure des émissions ioniques et atomiques des éléments présents dans l'échantillon, avec des intensités de bruit de fond très faibles.
- avec l'ICP-MS, la séparation avec un spectromètre de masse des ions correspondants aux éléments présents dans l'échantillon, avec un grand pouvoir de résolution.

Les premières sources ICP couplées à des spectromètres d'émission atomique sont apparues au début des années 70. Les sources ICP sont apparues particulièrement bien adaptées pour l'extrême excitation fournie à l'échantillon.

- Un appareil d'ICP-MS ou AES
- Un ordinateur connecté avec l'ICP + logiciel nommé ELAN pour l'enregistrement des données
- Les différents types de verrerie comme fiole, bécher, creuset, Erlenmeyer, ...
- Papier filtre pour la filtration
- Balance de précision

Les réactifs utilisés :

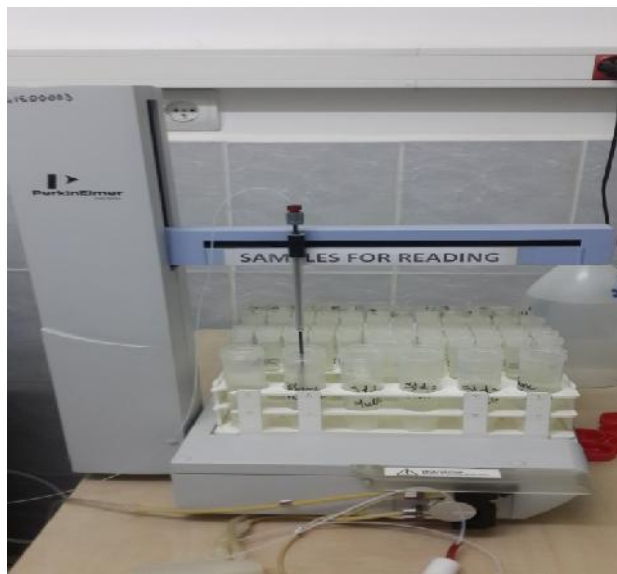
- Acide Nitrique (HNO_3) et acide chlorhydrique (HCl)
- Solutions d'Yttrium pour le standard
- Solution de HNO_3 5% (95% d'eau purifié+ 5% d'acide Nitrique)

2- Principe

L'ICP-MS comprend trois parties :

- 1-Un générateur d'ions, en l'occurrence une torche à plasma d'Argon à très haute température
- 2-Un séparateur de masse de type quadripôle
- 3-un détecteur d'ions

Le principe ICP-MS repose sur l'ionisation d'un échantillon grâce à un plasma d'Argon et la récupération des ions formés dans un spectromètre de masse.



Photos 03 : Appareil d'analyse ICP-MS,

Source : Auteur, Laboratoire OMNIS 2018

3- Mode opératoire

Les échantillons sont traités, préparés et mis en solution pour l'analyse, ils sont attaqués par des mélanges d'acides. Les différents modes opératoires et processus de mise en solution des échantillons sont reportés dans l'annexe 3.

PARTIE III:

RESULTATS

Chapitre I : LES RESULTATS DES ANALYSES GRANULOMETRIQUES

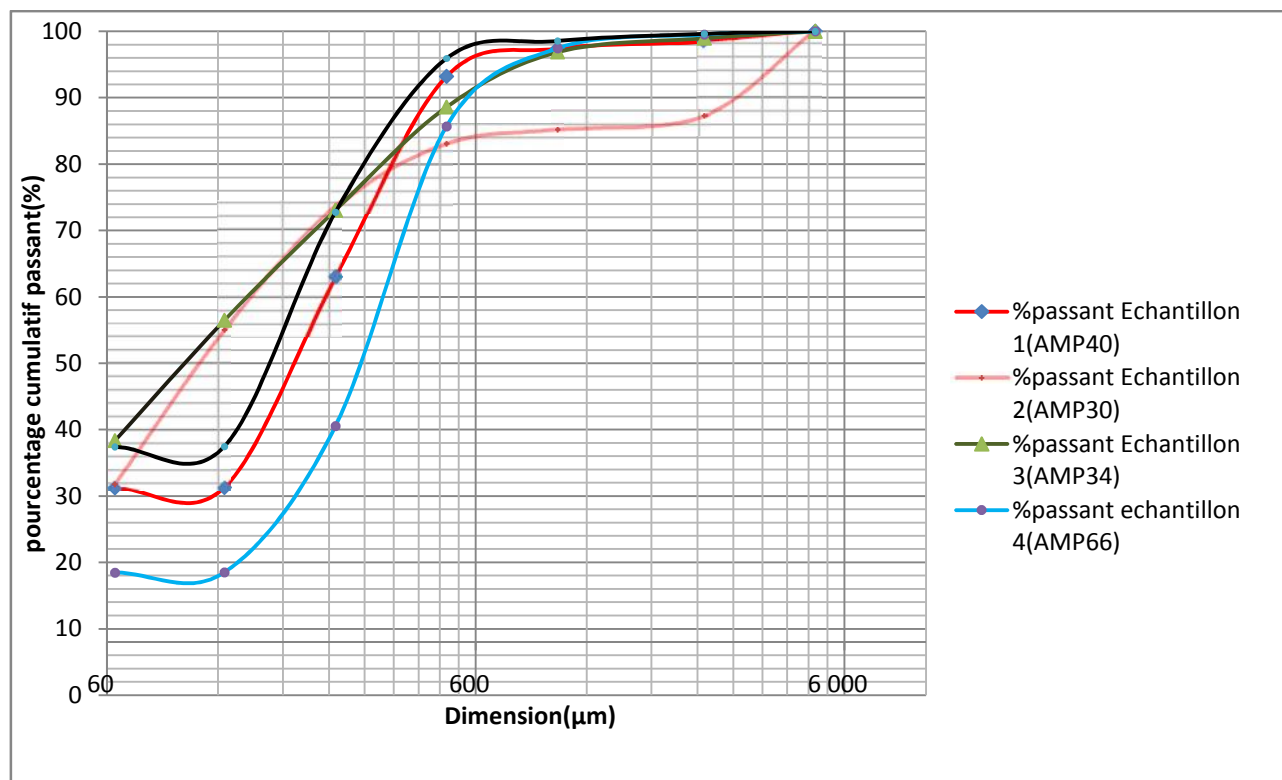
Sur quelques échantillons pris pour l'analyse granulométrique, on a pu obtenir les résultats ainsi que leurs courbes respectives sur une feuille logarithmique

I. Les résultats

Nous présentons dans un seul tableau le pourcentage cumulé passant de tous les échantillons analysés.

dim (µm)	%passant Echantillon 1(AMP40)	%passant Echantillon 2(AMP30)	%passant Echantillon 3(AMP34)	%passant Echantillon 4(AMP66)	%passant Echantillon 5(AMP56)
5 000	100	100	100	100	100
2 500	98,44	87,30	98,96	99,52	99,61
1 000	97,40	85,19	96,89	97,47	98,55
500	93,23	83,07	88,60	85,67	95,92
250	63,03	73,54	73,06	40,54	72,75
125	31,27	55,03	56,48	18,49	37,47
63	31,24	31,75	38,34	18,46	37,39

Tableau 05: Résultat des analyses granulométriques (Direction Laboratoire,2017)



Graph n° 01 : Courbes obtenues à partir des analyses granulométriques

Source : Direction du laboratoire, 2017

II. Les indices et les paramètres granulométriques

1. Les paramètres granulométriques

On a obtenu les valeurs des paramètres des résultats des valeurs des paramètres granulométriques suivants :

Echantillon	Q1	Q2	Q3	P16	P84
AMP40	150	300	350	63	375
AMP30	63	120	260	63	1000
AMP34	63	90	260	63	375
AMP66	150	300	450	125	475
AMP56	63	120	260	63	325

Tableau n° 06 : Les paramètres granulométriques, (Direction du Laboratoire, 2017)

2. Les indices granulométriques

A partir du logiciel Microsoft Excel, on a obtenu les résultats sur les indices et paramètres granulométriques suivants :

Echantillon	MOYENNE(en μm)	So	Ski	CLASSE MODALE (en μm)
AMP40	246	1,53	0,58	250
AMP30	394,3	2,03	1,14	-63
AMP34	176	2,03	2,02	-63
AMP66	300	1,73	0,75	500
AMP56	169,3	2,03	1,14	-63

Tableau n°07 : obtenu après les calculs sur Tableau n °06

- La moyenne de la granulométrie pour tous les échantillons ne dépasse pas 400 micromètres, selon le classement des sédiments par CAILLEUX, en 1954 ; en moyenne on a des sables grossiers.
- $So < 2.5$, ce sont des sédiments bien classés
- Pour le Ski ou Skewness, AMP 40 et AMP 66 sont d'une asymétrie négative tandis que les autres ne le sont pas (AMP 30,34, 56).
- La majorité des grains dans les sédiments dans AMP 30,34 et 56 sont inférieur à 63 μm et pour AMP 40 et AMP 66 ont une valeur de taille des grains respectivement 250 et 500 μm .

Chapitre II: RESULTATS SUR LE CALCIMETRIE DE BERNARD

Sur quelques échantillons pris sur terrain venant de la surface et des différentes tranchées, et après avoir effectué des analyses de calcimétrie sur ces échantillons, on a obtenu les résultats finaux exprimés dans le tableau de l'annexe 4.

1. Les résultats des échantillons venant de la surface

Sur 20 échantillons pris sur la surface, on a obtenu la courbe représentant le pourcentage en taux de CaCO_3 suivant les différents points de sondage.

Les échantillons venant de surface des différents points de sondages qui est au total (20 échantillons) contiennent de taux de carbonate de Calcium considérable. Le teneur en carbonate varie selon le point de l'emplacement de sondage.

2. Les résultats des échantillons venant de la tranchée 01

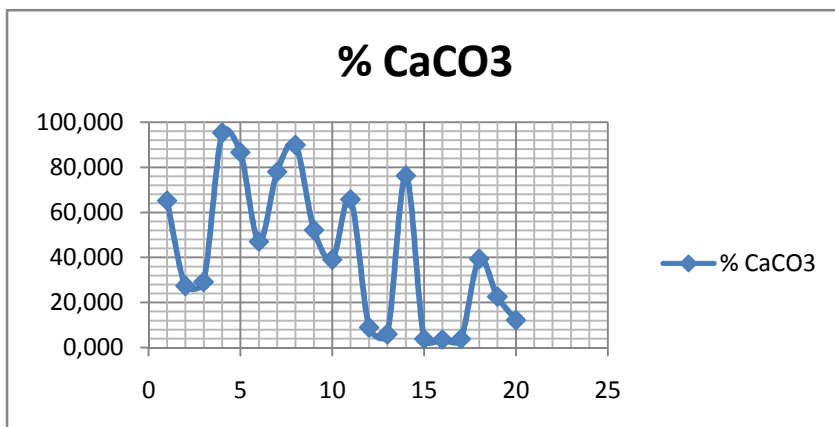
Le teneur en carbonate de la tranchée 01 varie brusquement entre la profondeur 1 jusqu'à 10 mètres, ce sont des couches géologiques de différentes natures. On peut voir aussi qu'entre 10 à 16 m, le taux du carbonate de calcium dans les roches ne varie qu'entre 1 à 2 %, ce sont des roches prises dans une même couche géologique.

3. Les résultats obtenus à partir des échantillons de la tranchée 02

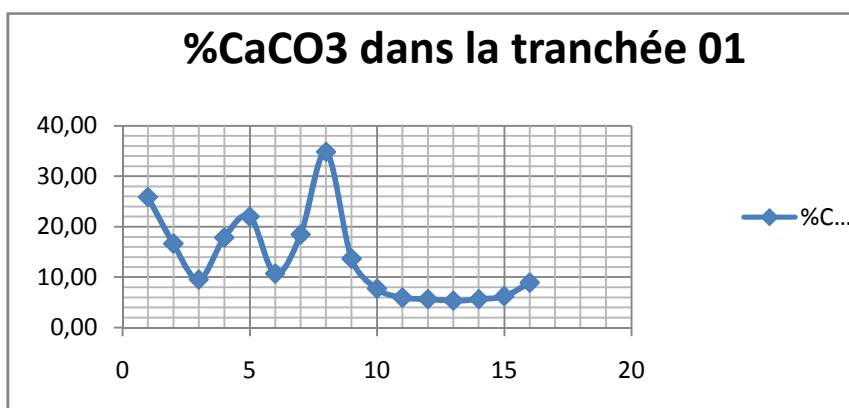
Dans la tranchée 02, le taux de carbonate dans les roches ne dépasse pas le seuil de 45% et diminue au fur et à mesure de la profondeur de puits.

4. Les résultats des analyses provenant de la tranchée 03

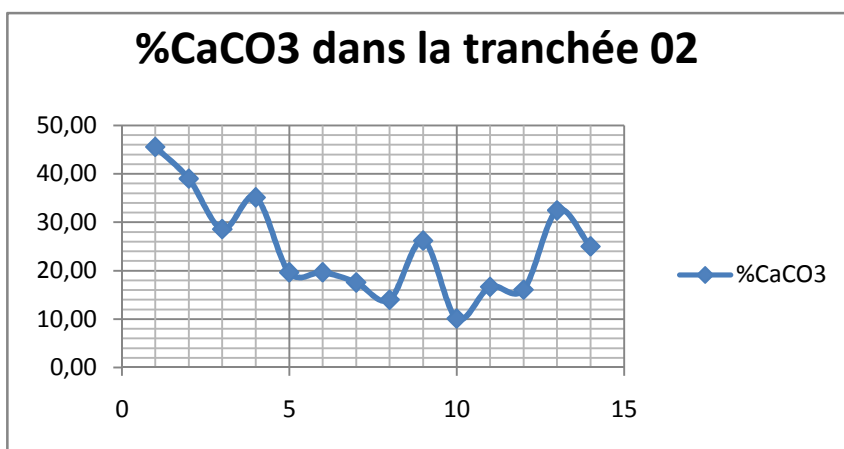
La tranchée 03 nous montre une forte variation augmentation de taux de CaCO_3 jusqu'à la profondeur 8-9 m puis une diminution entre 10-12m.



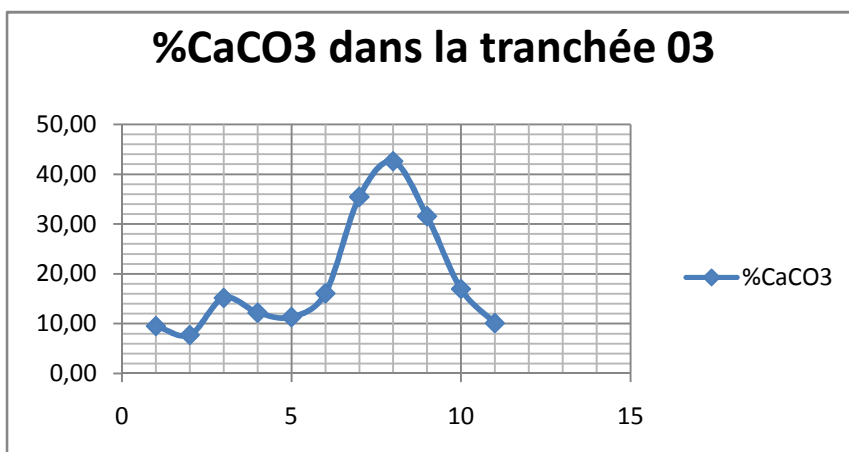
Graphe 02 :
%CaCO₃ des roches
de la surface



Graphe 03 :
%CaCO₃ des
roches tranchée 01



Graphe 04 :
%CaCO₃ des
roches tranchée 02



Graphe n°05 :
%CaCO₃ des
roches tranchée
03

Chapitre III : LE TAUX DES MATIERES ORGANIQUES ET LES RESULTATS DE L'ANALYSE CHIMIQUE

I. LE TAUX DES MATIERES ORGANIQUES

Après avoir été cuit dans un four à moufle de 375°C durant 16 h, on constate une variation de couleur (rouge en verdâtre), on a obtenu les poids suivants :

ID	Numero creuset	poids de creuset à vide Po(en mg)	Poids échantillons+ creuset final P1(en mg)	Poids cendre+ creuset cendré p2(en mg)	p1-p0	p2-p0	%Mo
AMP03	1	49044,2	59044,4	59001,3	10000,2	9957,1	0,00430991
AMP30	2	39455,3	49455,5	49042,6	10000,2	9587,3	0,04128917
AMP34	3	18753,9	28754,1	25820,3	10000,2	7066,4	0,29337413
AMP40	4	26654,8	36654,9	36040,1	10000,1	9385,3	0,06147939
AMP56	5	29645,9	39646	38109,4	10000,1	8463,5	0,15365846
AMP66	6	42280,2	52280,2	51333,9	10000	9053,7	0,09463

Tableau n°08 : Résultats d'analyse des matières organiques dans les roches,

Source : Direction Laboratoire OMNIS, 2018

Le taux de matière organique dans les roches varie entre 0.004 à 0.29, ce sont des sédiments déposés au cours de la transgression continentale. Ils tendent à être situés dans les facies de mélange grès-argile plutôt que dans les zones gréseuses ou argileuses seules à forte concentration en matière organique d'origine continentale.

II. LES RESULTATS DE L'ANALYSE CHIMIQUE

Dans ce chapitre, nous allons voir les résultats obtenus à partir de quelques échantillons venant de la zone d'étude du bassin, le résultat des analyses est reporté dans l'annexe 04. L'analyse par ICP-MS nous a donné le résultat concernant les éléments en trace dans les 67 échantillons en ppm. Ce sont : Ag, As, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Nb, Ni, Pb, Sr, V, Y, Zn, Ta, Th, U. On a pris les mêmes échantillons que ceux qu'on a utilisé durant l'analyse granulométrique.

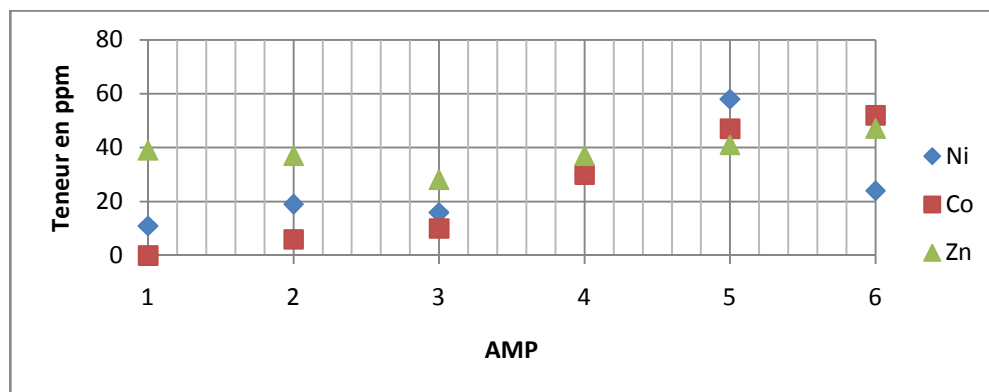
1. Les éléments Cu, Fe, Ni, Co, Zn, Mo, Ag, Cr

Ce sont des éléments dans la famille des métaux de transition dans le tableau périodique de Mendeleïev. D'après le résultat obtenu, en général les roches venant de la zone X est pauvre en Ag car le teneur ne dépasse pas de 1ppm. Le teneur maximal en Mo et en Cu est inférieur ou égal à 11ppm. Dans tous les échantillons venant des différents points de sondage, tous ces éléments ne constituent pas en général des anomalies.

ID	Ni	Co	Zn	Fe
AMP03(1)	11	<5	39	5264
AMP30(2)	19	6	37	16146
AMP34(3)	16	10	28	13538
AMP40(4)	30	30	37	32622
AMP56(5)	58	47	41	31217
AMP 66(6)	24	52	47	17280

Tableau n°09 : Les éléments chalcophiles,

Source : Labo OMNIS 2018



Graphique n°06 : Nuage des points de Ni,Co,Zn,Fe ;

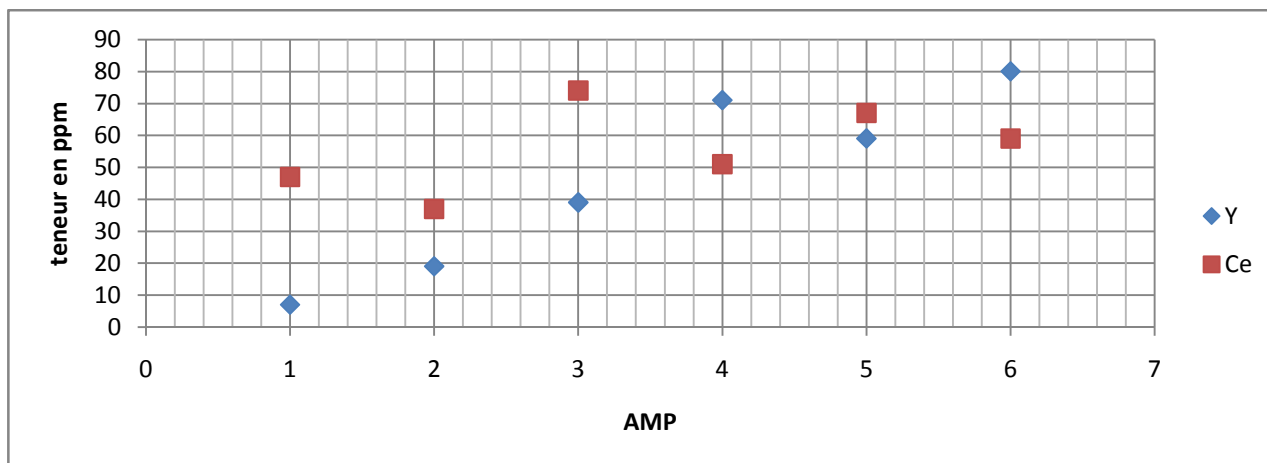
Ce sont des roches riches en fer, un teneur supérieur à 5264 ppm. Ce sont des grès ferrugineux.

2. Les éléments Y, Ta, Nb, As, Ce

D'après le résultat de l'analyse, le Tantale(Ta) et le Niobium(Nb) sont des éléments presque inférieurs à 10 ppm dans les roches, seulement dans AMP 34 et 40 qu'on observe une variation de teneur. Un teneur en Yttrium considérable est observé dans les roches venant de la zone X car le teneur varie entre de 7 -294 ppm. De même pour l'As et Ce, ces 2 éléments présentent une forte variation de teneur.

ID	Ta	Nb	Y	As	Ce
AMP30	<10	<10	19	<20	37
AMP34	14	17	39	<20	74
AMP40	10	29	71	72	51
AMP56	<10	<10	59	50	67
AMP 66	<10	<10	80	38	59

Tableau 10 : Résultat du teneur en élément Ta,Nb,Y,As,Ce



Graph n°07 : Dispersion des éléments Y et Ce dans les 6 échantillons pris dans le terrain

En général, tous les échantillons analysés présentent des anomalies pour ces éléments.

3. Les éléments Th, V, Pb, U

Ce sont les éléments qui nous intéressent dans notre étude, la plupart d'entre eux sont des éléments radioactifs tels que Thorium et Uranium. On trouve des métaux aussi comme le Vanadium et le Plomb. Ce sont tous des éléments à teneur importante et présente une anomalie où dans certain endroit, on trouve une brusque variation de teneur.

ID	Pb	V	Th	U
AMP30	53	147	75	53
AMP34	68	713	323	119
AMP40	52	193	105	167
AMP56	53	233	116	284
AMP 66	61	201	115	1019

Tableau 11 : Résultat du teneur en élément Th, U, V, Pb

Source : Direction Laboratoire OMNIS, 2018

PARTIE IV

INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS

Chapitre I : LA NATURE DES MINERAUX D'URANIUM ET LA POTENTIALITE EN ELEMENTS TRACES

D'après les différentes analyses faites sur les échantillons provenant du site étudié, la nature de minéraux d'Uranium est le Carnotite ou Uranovanadate de potassium.

Les vanadates constituent le principal porteur d'Uranium dans les grands gîtes sédimentaires (CEA, 1954).

I. La nature et les propriétés du minerai

1. L'origine du gîte

Comme nous l'avons déjà dit, c'est un gisement uranifère secondaire. Voici quelques indices qui indiquent la formation du carnotite :

a- La précipitation de la carnotite selon MANN en 1974

Mann a étudié la précipitation de la carnotite dans l'eau pure et en milieu carbonaté, et en avoir déduit qu'en environnement carbonaté, elle précipitait dans une gamme de pH comprise entre 3,8 et 7,8 qui pourraient conduire à la précipitation de la carnotite par le potentiel redox.

L'Uranium est transporté dans un état oxydé hexavalent sous forme d'Uranyle UO_2^{2+} ou $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ selon le pH. La présence d'ion bicarbonate CO_3^{2-} influence la solubilité de l'Uranium par la formation de complexes bicarbonatés $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3, 2\text{H}_2\text{O}$ ou tri carbonatés $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_4^{4-}$, le vanadium est transporté dans son état tétravalent.

Dans la condition normale, l'Uranium et le Vanadium sont solubles et le carnotite ne se précipite pas. C'est la rencontre d'eaux plus oxydant qui fait passer le Vanadium de son état tétravalent à son état pentavalent avec précipitation de Carnotite.

b- Locardi en 1974

La précipitation de la carnotite est principalement liée à l'activité de l'ion Uranyle et de ses complexes carbonatés, l'Uranium lessivé des roches environnantes est transporté vers les systèmes chenaux. Le seul processus capable de déplacer une telle quantité d'Uranium est son absorption sur la matière organique et les argiles en suspension.

Or, la matière organique est rapidement oxydée dans un tel environnement.

L'Uranium est maintenu constamment en solution et il subit une concentration constante tout au long du processus évaporitique. Cette solubilité est d'autant plus grande, qu'il est très mobile sous forme de complexe d'Uranyle carbonaté.

La concentration en ion carbonate à partir d'un certain seuil, diminue, entraînant une moindre activité de carbonate CO_3^{2-} qui forme des complexes très stables avec l'ion Uranyle. L'activité de ce dernier pourrait, dans ces conditions, atteindre le seuil de précipitation de la carnotite. La concentration en Vanadium des eaux et le phénomène contrôlant sa circulation peuvent devenir un facteur limitant à ce processus de formation de la carnotite.

2. Les propriétés

Le minerai d'Uranium est appelé Uranovanadate et Potassium ou Carnotite qui a pour formule chimique : $(\text{UO}_2)_2 \text{V}_2\text{O}_8\text{K}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ jaune macroscopiquement. Ce type de minéraux d'Uranium est un minéraux *Uranifères Supergènes*. A côté de l'Uranium, ils renferment des cations divers : Calcium et surtout le potassium. Les cristaux minuscules sont indiscernables le plus souvent et le minéral présente l'aspect d'une poudre jaune.

Composé de l'Uranium à l'état hexavalent, la carnotite est le plus insoluble dans une large gamme de pH. Le vanadium étant dans son état pentavalent.

II. Le mode de formation des minéraux d'Uranium

1. Le rôle du carbonate de calcium

Comme nous venons de voir la condition de la précipitation de la carnotite, le carbonate joue un rôle très dans la complexation et la rétention de l'ion Uranyle dans une roche, or les roches analysées venant du terrain étudié présentent un taux en Carbonate de Calcium important.. La plupart des roches pris dans le terrain présentent de taux de CaCO_3 et d'après la classification des roches carbonatées, ce sont des marnes argileuses, les marnes se forment dans le milieu riche en CO_2 donc anoxique.

2. Le rôle des matières organiques

Comme nous venons de mentionner, le coefficient de retard d'un matériau rencontré par l'ion Uranyle joue un rôle très important dans la rétention de l'Uranium, *celle d'une matière organique sable argileux est $R=1000$ et un sable-quartzueux $R=10$, plus R est élevé plus l'Uranium est moins mobile.*

La liaison de l'uranium avec les grès continentaux tient au caractère généralement oxydé de ces grès, assurant la mise en solution de l'uranium lors de la percolation de fluides. Si ces grès étaient initialement réducteurs ils pouvaient en effet contenir de l'uranium, que l'altération supergène continentale oxyde, déplaçant l'uranium vers le bas. A la rencontre d'horizons réducteurs riches en matière organique, l'uranium précipite et peut être ultérieurement mobilisé

en même temps que la matière organique grâce à un échauffement postérieur, pour se concentrer dans des pièges.

L'uranium, lui, n'est complexé que dans certains milieux oxydants (Langmuir, 1978). Il précipitera en général par abaissement de la fugacité d'oxygène en présence d'un milieu réducteur. Il n'est donc mobilisable et précipité que selon la deuxième possibilité évoquée plus haut pour les métaux de base. Cependant, si le milieu réducteur est lui-même mobile (hydrocarbures par ex.), l'uranium contenu, pourra être déplacé avec ce milieu et éventuellement concentré.

III. Les éléments chimiques existant au sein de la formation

Selon le résultat obtenu après l'analyse chimique ICP-MS, les roches venant de du terrain contiennent beaucoup de métaux comme le Plomb, le Vanadium, le Zinc, le Cuivre, le Fer, le Cobalt, le Nickel. La variation en teneur de ces éléments peut être interpréter comme instabilité chimique et thermique du milieu de dépôt.

Le Nickel, Cobalt et le zinc : parfois comme éléments accompagnateurs semblent provenir du processus hydrothermal.

Les terres rares : Ce sont des éléments en petit trace, les gites Uranifères de Madagascar est connu pour la combinaison de ces éléments avec l'Uranium selon la CEA, c'est la combinaison Niobio-Tantale-Uranium.

Le Plomb, le Thorium : ce sont des éléments issus de la désintégration de l'Uranium. L'Uranium 238 se désintègre et devient stable quand il atteint le stable de plomb 206. Tandis que le thorium la phase intermédiaire de désintégration de l'Uranium (par exemple : désintégration de l'Uranium 238 en Uranium 234.

Le vanadium : en état hexavalent selon MANN, est un métal qui s'associe avec l'Uranyle en milieu potassique pour donner la Carnotite, c'est aussi la principale porteur d'uranium dans les gîtes sédimentaires.

Chapitre II : LES MATIERES ORGANIQUES ET LE POTENTIEL PETROLIER DU TERRAIN

Les sédiments et roches détritiques sont les plus abondants des dépôts sédimentaires. Au sein de ces dépôts, ce sont les variétés dont les grains sont les plus fins qui dominent: argiles/silts: 2/3; sables, graviers: 1/3.

I. Le mode de transports des sédiments

Les sédiments sont d'origine détritique, ce sont des grès qui a comme ciment calcaire. Ce grès seront classé selon leurs granulométries.

1. La moyenne, le Skewness, le Trask

Ces paramètres granulométriques nous donnent des indices sur la nature des roches, le milieu de dépôt ainsi que le mode de transport des sédiments ou les roches. Les caractéristiques des roches venant du terrain étudié sont obtenues à partir de ces paramètres granulométriques.

1.1.La moyenne

C'est la taille moyenne des grains, la granulométrie moyenne des roches étudiées montre une distribution unimodale, la valeur moyenne des grains varie entre 0.170 μm et 0.400 μm , la moyenne correspond donc sables moyens et sable grossiers. Le fait d'avoir une moyenne de grain sable moyens et sables grossiers seraient donc en lien avec l'hydrodynamique assez faible de toute la période de dépôt des sédiments.

1.2.Skewness

Les valeurs d'asymétrie des courbes de distribution granulométrique des roches varient entre 0.58 et 2.02, AMP 40 et AMP 66 présentent une asymétrie négative, le courant qui les ont transportés est un courant fort tandis que pour les autres (AMP 30, 54, 56) présentent une asymétrie positive classement meilleur du côté des sables fins, c'est-à-dire transportées par une courant faible.

1.3. Le Trask ou classement

Tous les échantillons présentent un Trask $So < 2,5$, ce sont alors des roches bien classées, ces valeurs signifient que ces roches sont plus ou moins homogène.

1.4. La classe modale

La classe modale nous indique la granulométrie dominante dans les roches, AMP 40 et AMP 66 présentent respectivement une classe de 500 et 250 μm , les classes dominantes sont des sables grossiers et moyens. Les 3 autres échantillons sont composés par une granulométrie dominante d'argiles et des limons.

2. Mode de transport

La différence entre les valeurs des indices granulométriques indique un mode différent de transport des roches. Les agents de transports sont identifiés par l'analyse morphoscopie par l'abrasion et le non abrasion des arêtes des grains. Mais durant le Karroo qui est marquée par une période de transgression continentale et le dépôt des roches et peut être les matières organiques, on peut en déduire que l'eau était le principal agent de transport.

C'est ainsi que, les grains anguleux reflètent un transport dans l'eau sur une courte distance et les ronds et mats sont la conséquence d'un transport éolien tandis que les émoussés luisants traduisent un transport dans l'eau sur une distance plus ou moins importante. (Chamley H, 2000)

Macroscopiquement, les roches ont des grains moins arrondies, selon Eugène RAZAFIMBELO, ces sédiments sont le résultat de l'érosion et l'abrasion du massif proche. Ces sédiments sont donc transportés à court distance.

II. Le taux des matières organiques

D'après le résultat d'analyses, il existe un taux de matières organiques en faible quantité dans les roches venant du site étudié, des matières organiques végétales sont abondantes dans ce site tels que les mangroves, marais. Mais des recherches en profondeur, nous permet d'éclaircir le taux des matières organiques déposés au cours des phénomènes géologiques ainsi que leur maturité.

III. Les environnements de dépôts

Au cours de la sédimentation, les sédiments peuvent encore subir des phénomènes d'altération liés aux processus d'oxydation ou de réduction, au pH du milieu, à la lumière, à l'oxygénation et à d'autres facteurs extérieurs la température et pression. Des roches riches en carbonate de calcium qui permettent de favoriser la préservation des matières organiques. Selon le résultat des analyses des éléments en trace, on trouve une trace de fer (milieu basique) assez importante dans les échantillons ainsi que des métaux lourds chalcophiles et siderophiles.

IV. Le mode de dépôt des sédiments

Durant le post-Karroo et le Karroo, on a 2 mécanismes de déposition des sédiments : ce sont respectivement les dépôts marins dû à la transgression marine avec des dépôts riches en calcaires et les dépôts continentaux dû à la transgression continentale avec des dépôts riches en pollen et spores. Le dépôt continental est discordant du socle et le dépôt marin discordant de la

formation du Karroo. Les dépôts peuvent être aussi contrôlés par l'événement tectonique durant chaque phase et les structures du terrain.

Les grès du terrain se sont déposés durant la phase de transgression continentale, ce sont alors des dépôts purement continentaux et peuvent contenir des matières organiques transportés puis décantées avant les dépôts des roches carbonatées.

V. Le potentiel pétrolier

La lithologie argile marneuse conduit à penser que dans la partie inférieure du terrain, il peut exister une roche mère de pétrole. Les grains fins et les différentes activités bactériennes peuvent contribuer à la préservation des matières organiques. Le rôle de l'Uranium dans la phase de maturation des matières organiques est un paramètre à considérer. On ne peut pas en dire plus, des études approfondies comme la variation de taux des matières suivant la profondeur, leur phase de maturation, leur mode de conservation dans le sol du terrain ainsi que des différents paramètres de formation d'un gisement de pétrole.

VI. RECOMMANDATIONS

1. Perspective d'exploitation de l'Uranium du site

Pour la future exploitation de l'Uranium du site d'étude, on recommande la technique d'exploitation par lixiviation in situ également appelée récupération « in situ » ou minéralisation par dissolution.

Le minerai Uranifère n'est pas retiré dans son gisement géologique, mais un liquide de lixiviation est injecté à travers les puits du gisement et le liquide porteur d'Uranium est pompé à la surface à partir d'autres puits.

Différents paramètres tiennent compte pour pratiquer ce genre de technique :

- ❖ Le type de roche encaissant : dans notre cas, l'uranium est renfermé dans les grès.
- ❖ La profondeur de la minéralisation : dans la surface comme dans la profondeur, on a encore une teneur en Uranium.
- ❖ Le teneur du gîte : on a ici dans notre cas une variation de teneur en Uranium. On tient en compte ce paramètre car pour l'exploitation d'un gisement de minerai à faible teneur, cette technique a un faible coût de production.

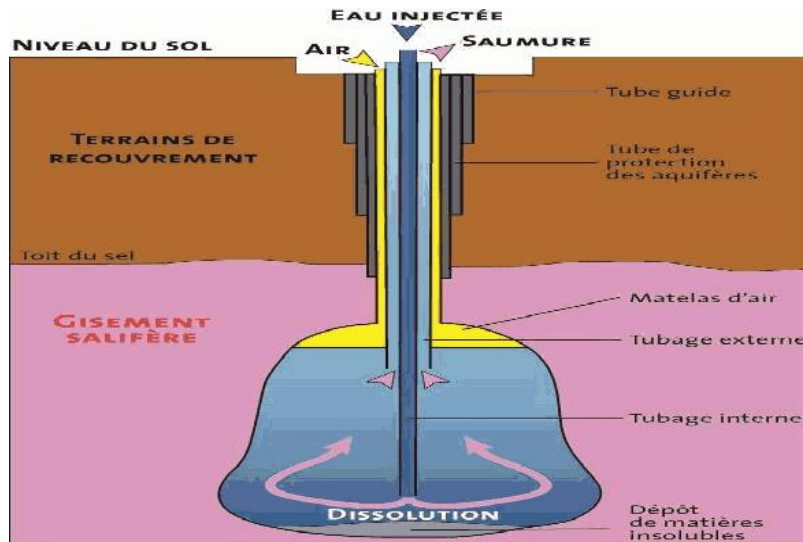


Figure 06 : Lixiviation in situ

source : www.reseachgate.com

2. Les avantages de la technique

Par rapport aux autres techniques, elle est moins destructrice pour l'environnement et économique à ne citer que :

- ❖ Les risques réduits d'accidents, l'exposition aux rayonnements et des poussières radioactifs des employés.
- ❖ Le faible coût de production
- ❖ Pas besoin des gisements de résidus de traitement de l'Uranium.

CONCLUSION

En guise de conclusion, la relation entre la formation de l'Uranium et le mode de maturation, conservation des matières organiques dépendent de plusieurs facteurs. Les 2 formations qui sont le Karroo qui est marqué par le dépôt des grès continentaux-schistes parfois de et le Post Karroo marqué le dépôt des sédiments carbonatées (marne argileux) de la zone d'étude.

L'Uranium qui est un élément abondant dans la croûte terrestre, par altération des roches mère comme le pechblende, l'uraninite ou l'uranothorianite transporté sous forme d'ion Uranyle s'est fixé dans les grès. Le teneur en éléments dans les roches tels que l'Uranium, le Vanadium, le Fer, le Cobalt, et les Terres rares ont été déterminé par l'intermédiaire de l'analyse ICP-MS.

La fixation de l'Uranium dans les grès peut être expliquée par l'abondance de taux de carbonate dans les roches ainsi que les matières organiques dans ces roches. La nature des roches et des sédiments tient beaucoup d'importance dans la rétention de l'Uranium dans les roches sédimentaires, chaque roche possède son propre coefficient de retard.

Le mode de dépôt, de transport ainsi que les environnements de dépôts des sédiments sont déterminés à l'aide des analyses granulométriques des échantillons, dans ce mémoire on a utilisé la méthode d'analyse granulométrique par tamisage sec, celle-ci n'apporte pas de précision sur la fraction de limon et argiles, on ne peut donc pas le taux de division des sédiments, pour donner une valeur sure sur les résultats, l'analyse granulométrie par sédimentométrie est l'une des solutions pour remédier à ce problème .

La condition oxydoréduction du milieu de dépôt joue aussi un rôle important dans la fixation de l'uranium dans les roches.

Un minerai d'origine secondaire c'est-à-dire obtenu par altération de couleur jaune est composé par l'uranium, le vanadium, le potassium et de l'oxygène.

Pourtant, pour mieux approfondir notre recherche, les analyses minéralogiques, morphoscopiques et lames minces sont encore indispensables pour apporter beaucoup plus de précision sur les résultats de la recherche et pyrolyse par Rock Eval pour obtenir le vrai taux de matière organique dans les roches.

BIBLIOGRAPHIES

- ❖ Etudes des interactions entre uranium et des composés organiques dans les systèmes hydrothermaux, thèse David Salze, Nancy 17 Novembre 2008
- ❖ Géochimie des terres rares et des éléments en trace associés dans les nappes et l'eau des sols Hydromorphes ; n° 91 par Christine RIOU, Thèse Doctorat de l'Université de Rennes en 1999
- ❖ Géologie de Madagascar, LE BASSIN DE MORONDAVA, Henri Besairie, Service géologique-TANANARIVE, 1953
- ❖ Géologie des ressources fossiles, Laboratoires de géologie des systèmes et réservoirs Carbonatés, FRANCOIS FOURNIER, Provence 2011
- ❖ Géologie et Géochimie de l'Uranium ; édité par le Centre de recherches sur la géologie de l'Uranium, Edition M. Pagel, Nancy 1988
- ❖ Gisement d'Uranium et Thorium dans le Monde, GEFFROY, Janvier 1956, Documentation CEA URANIUM
- ❖ Gîtes Minéraux de Madagascar, Henri Besairie, Tananarive 1973
- ❖ Impacts environnementaux et mesures d'atténuation reliés à l'exploration et à l'exploitation des mines d'Uranium, Maîtrise en Environnement, par Christine Murray, Mai 2014
- ❖ L'Uranium dans l'environnement, Dossier Uranium et Environnement ; Commissariat de l'Energie Atomique (CEA), 2001
- ❖ LE BASSIN SEDIMENTAIRE DE MORONDAVA, thèse d'Eugène RAZAFIMBELO en 1987
- ❖ Les Fleuves et Rivières de Madagascar, Ny ony sy ny renirano eto Madagasikara ; ORSTOM Edition DMH CNRE ; Pierre Chaperon, Joel Danloux, Luc Ferry, Paris 1993

WEBORGAPHIES

- ❖ <http://www.wise-uranium.org/uisl.html>
- ❖ <http://www.geolsed.ulg.ac.be/sedim/sedimentologie.html>

ANNEXES

Annexe 1 : Présentation de l'OMNIS

I. MISSIONS DE L'OMNIS

Créée en 1976, l'OMNIS (Office Militaire Nationale et des Industries Stratégiques) qui est devenu aujourd'hui Office des Mines Nationale et des Industries Stratégiques et qui a pour slogan « Ensemble pour un avenir meilleur » dirigée par Madame Voahanginirina RADARSON est une entité sous la tutelle du Ministère auprès de la présidence chargé des Mines et du Pétrole.

Son rôle :

- Créer et gérer les actifs que la production et/ou les participants aux actions dans le développement de ressources naturelles pour l'Etat dans les industries des Hydrocarbures et des Mines ainsi que leur régularisation.
- Responsable de toutes les fonctions opérationnelles dans le secteur pétrole en amont.
- Valorisation des données géologiques de bases et mise en œuvre en matière d'exploration et d'exploitation, gestion des hydrocarbures Nationaux.

II. ORGANIGRAMME ET ORGANISATION DE L'ENTITE

I. L'organisation générale de l'OMNIS

L'entité est répartie en 8 Directions qui sont :

- ❖ La Direction Générale
- ❖ La Direction des Ressources Humaines
- ❖ La Direction Administrative et Financière
- ❖ La Direction de Patrimoine et Logistique
- ❖ La Direction du Centre Médicale

Directions Techniques :

- ❖ La Direction du Laboratoire
- ❖ La Direction de Minéral et Forage
- ❖ La Direction des Hydrocarbures

Ainsi que 3 cellules (technostructures) qui sont :

- ❖ Cellule Information et Communication
- ❖ Cellule Etude et Conseil
- ❖ Cellule Audit et Organisation

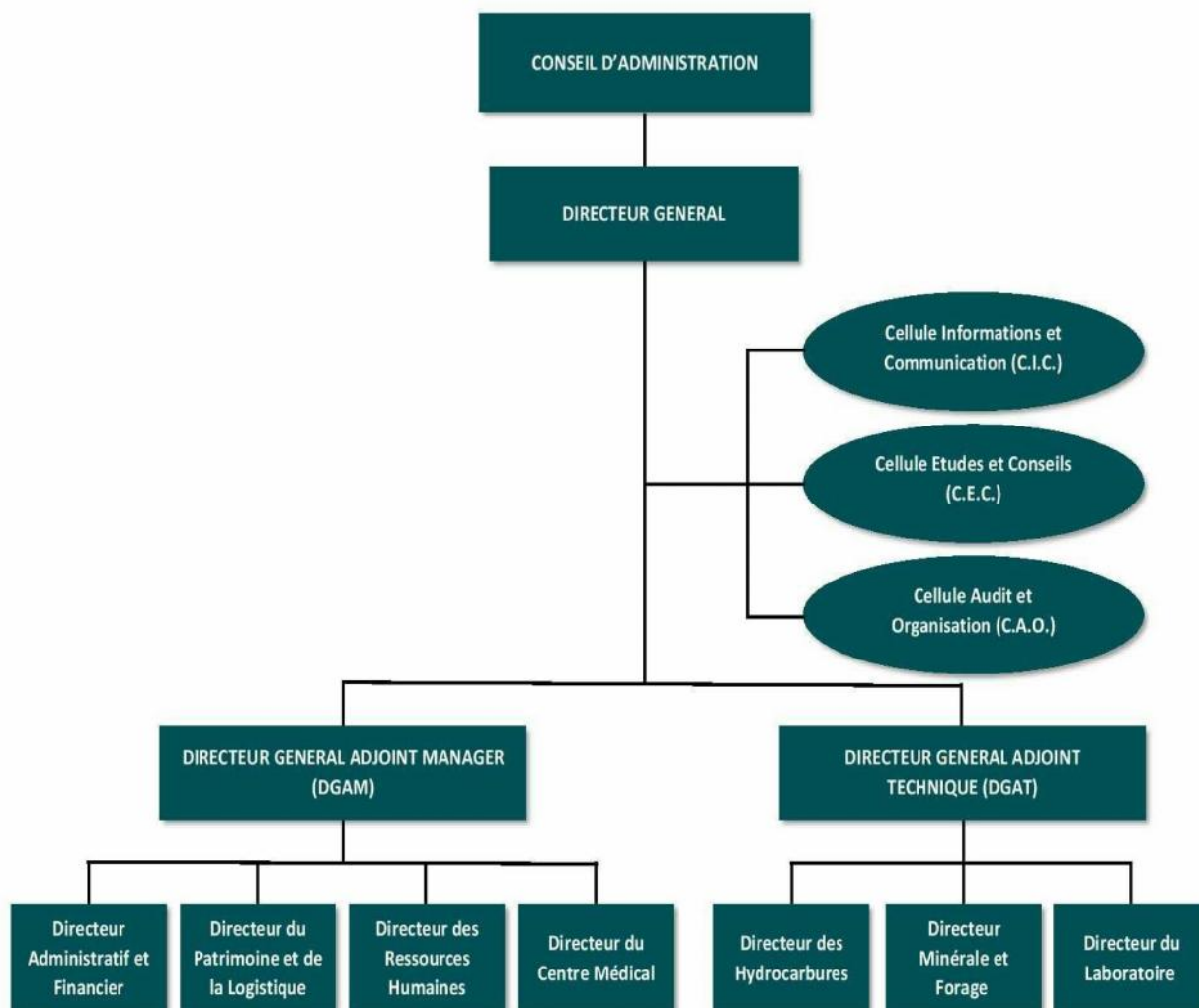


Figure 01 : Organigramme de l'OMNIS (OMNIS, 2018)

Source : Site OMNIS, 2018

2. Direction Laboratoire

Le laboratoire reçoit les échantillons qui sont ensuite préparées mécaniquement, traitées et analysées venant des différentes firmes minières et pétrolières et appuyé techniquement les deux autres directions techniques (Minérales et Forages, Hydrocarbures). Elle possède 23 employés avec 11 cadres et 13 non cadres.

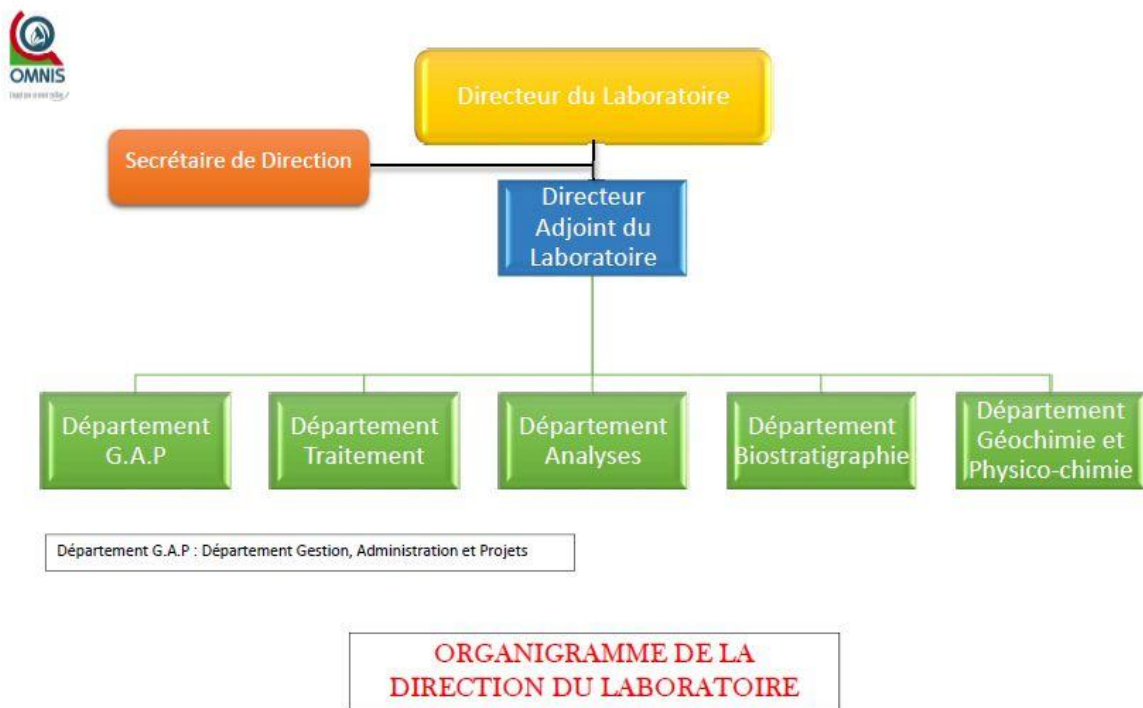


Figure 02 : Organigramme de la Direction du Laboratoire

Source : Laboratoire OMNIS, 2018

La direction est composée en 5 Départements :

A- Département GAP ou Gestion Administration et Projets

Gère les activités financières et administratives de la direction

B- Département Techniques

2-2- Département Traitement

Le département est spécialisé pour :

- ❖ Préparation mécanique des échantillons.
- ❖ Traitement (cela peut être physique ou mécanique).
- ❖ Analyse granulométrique
 - a- Préparation mécanique
Etuvage ou séchage, Concassage, Broyage, Analyse granulométrie, Pulvérisation
 - b- Traitement
Séparation Magnétique des éléments fortement magnétique
Séparation gravimétrique sur table à secousse et jig, Lixiviation, Extraction par solvant,
Lixiviation par maturation , Réextraction, Précipitation
 - c- Analyse minéralogique
Analyse qualitative et Analyse quantitative

2-3- Département Analyses minérales

On propose ici 2 analyses différentes qui sont :

a- Analyse classique

Analyse des éléments majeurs, Analyse fluorimétrique, Analyse volumétrique/ titrimétrique, Analyse colorimétrique, Analyse gravimétrique, Analyse de fer, Analyse de carbone graphite

b- Analyse des éléments en trace

Analyse par Spectromètre de Masse avec Plasma à Couplage Inductif ou ICP-MS

Avantages :

- ❖ Technique de mesure rapide
- ❖ Limite de détection très basse
- ❖ Analyse simultanée : mono-élément et multi-éléments

Domaine d'application

- ❖ Analyses minérales : phase de prospection minière détaillée, stratégique
- ❖ Analyse environnementales : pollution des eaux, métaux lourds, impacts environnementales des explorations/ exploitations minières.

De capacité de 100 échantillons par jour

Type d'échantillon : roche, eau, sol, minéral

Limite de détection : ppm, ppb, ppt

On a différents façons de procéder à une analyse : Par titrimétrie, Par Oxydation, Par calcimétrie

Eléments analysés :

Mono-éléments : Au, Hg, U, Se

Multi-éléments : Ca, Mg, K, Fe, Co, Ni, Zn, Pb, Mo, Al, Cr, Mn, As, Li, Nb, Te, Ti, Zr, Na, Cu, Ag, Cd,...

Terres rares : Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb et Lu

2-4- Département Biostratigraphie

Dans ce département on procède pour l'étude des **foraminifères**, les **nanofossiles** calcaires, la **palynologie** et sédimentologie qui sont indispensables pour caractériser les couches géologiques par leur contenu biologique (fossiles).

2-5- Département Analyses Géochimique et Physico-chimique

Ce département est spécialiste sur les **recherches pétrolières en amont** pour son application à l'exploration pétrolière comme l'analyse d'huile lourde, transparent.

Analyse physico-chimique : Viscosité, Teneur en eau et en sédiment

Annexe 2 : TRAITEMENTS ET PREPARATIONS DES ECHANTILLONS

Les échantillons à analyser proviennent de la surface, des différentes tranchées et puits.

Leur nomenclature varie selon le point d'échantillonnage, leur profondeur, le numéro de tranchée ou de puits. Ceux qui proviennent de la surface se nomme GEO, celle tranchée T.

Avant de procéder à des différents types d'analyses dans le Laboratoire, les échantillons doivent être préparées et traitées afin d'obtenir des séries de grains de granulométrie inférieure à quatre vingt micromètre ($<80\mu\text{m}$).

Pour ce faire, les étapes à suivre pour le traitement et la préparation des échantillons sont :

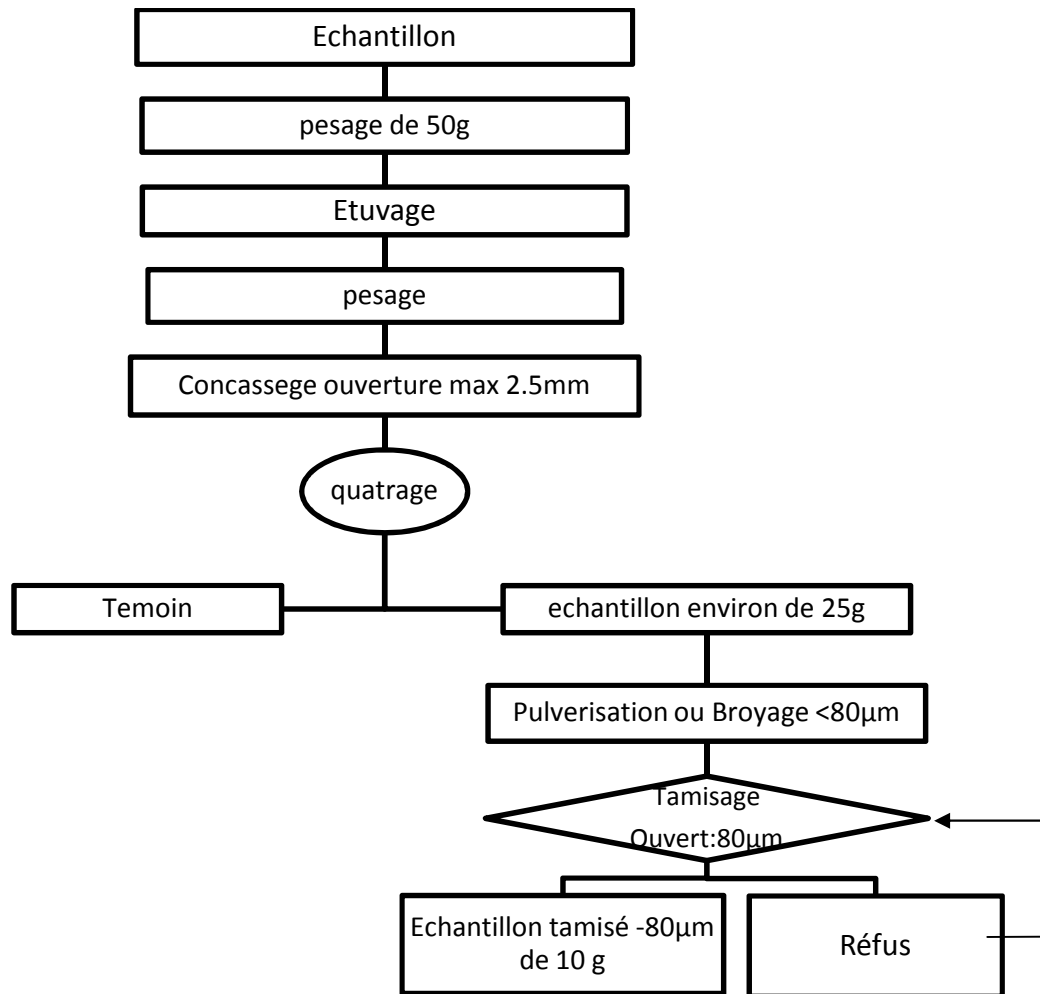


Figure 03 : Processus de traitement et de la préparation mécanique des échantillons à l'OMNIS

Source : Auteur, Laboratoire OMNIS 2018

1. Pesage

Les échantillons sont directement pesés sur une balance numérique. On les met dans une barquette en aluminium (pour éviter toutes contaminations) et pour notre analyse on devrait peser 50 g.

2. L'étiquetage

Pour éviter la confusion, l'étiquetage est très important durant les opérations de traitement et préparation des échantillons.

Il comporte en général :

- Le numéro d'Identification ID
- Le nom de lieu de sondage en abréviation
- Le numéro de point de sondage
- La nature (Tranchée ou puits) + profondeur
- Le poids de l'échantillon après pesage



Photo 01 : Echantillon pesé et étiquetage

Source : Auteur, Laboratoire OMNIS 2018

3. Etuvage ou séchage

Puis après pesage, les échantillons doivent passer dans une étuve pendant ½ ou 1 journée dans une température de 120 ° C car les échantillons humides pourraient endommager ou coller sur le broyeur lors de l'opération de broyage ou pulvérisation.

4. Pesage

Après l'étuvage, on pèse l'échantillon

5. Concassage

Les échantillons sont concassés à une granulométrie inférieure à 2,5 mm.

6. Quartage

Le but de cette opération, c'est l'homogénéisation de l'échantillon. Il est versé dans un appareil appelé Quarteur qui le divise en 2 qu'on note a1 et a2 puis on récupère l'un (a1) et on refait la même opération. Enfin, a1 donne a11 et a12 ; on prend l'un d'eux comme témoin et l'autre pour la suite de l'opération.

7. Pulvérisation

L'analyse des roches dans un laboratoire nécessite une réduction granulométrique des grains inférieure à $80\mu\text{m}$. La pulvérisation consiste à rendre la granulométrie des grains en $-80\mu\text{m}$.

8. Le tamisage

La dernière opération est marquée par le tamisage des échantillons pulvérisés, comme tamis on a utilisé les tamis de norme AFNOR de série (en μm) 2500, 1000, 500, 250, 100, 80, PAN et rot tip qui est une machine qui crée du mouvement vibratoire. On peut alors obtenir 2 produits différents : les passants de granulométrie $-80\mu\text{m}$ et les refus qui est $+80\mu\text{m}$



Photos 02: Quarteur

Broyeur à anneau

Source : Auteur, Laboratoire de l'OMNIS 2018

Annexe 3: Les processus de préparation des échantillons à analyser

I. Les processus de mise en solution des échantillons

Comme pour tous les échantillons à analyser, elles subissent un travail préliminaire : la préparation mécanique dans le but d'obtenir une granulométrie $-80\mu\text{m}$.

- ❖ Dans un bécher de 250 ml, peser 2g d'échantillon sur une balance de précision
- ❖ Verser 100 ml de HNO_3 1 :1 ; laisser réagir à une température ambiante avec une verre de montre sur le bécher pendant 30 mn.
- ❖ Chauffer jusqu'à l'ébullition (environ 110°C) sur une plaque chauffante pendant 30 mn toujours avec le verre de montre puis laisser évaporer pour diminuer le volume de la solution (ne pas laisser aller à sec).
- ❖ Ajouter 20 ml d'eau régale (5 ml HNO_3 , 15 ml HCl) laissé réagir sous légère ébullition sans le verre de montre.
- ❖ Laisser refroidir la solution et filtrée sur le filtre rapide dans une fiole à 100 ml
- ❖ Rincer le filtre 2 à 3 fois avec de l'eau purifiée HNO_3 5%



Photo 03: filtration des échantillons,

source : Auteur, Laboratoire OMNIS 2018

- ❖ Jauger la fiole

II. Les produits nécessaires pour l'analyse calcimétrie de Bernard

-Acide Chlorhydrique 10% : si on prend 1L de solution finale, on mélange 900 mL d'eau distillée et 100 ml d'acide chlorhydrique.

-Du bicarbonate pour l'étalonnage : un étalonnage est nécessaire pour calibrer le calcimètre, on le fait à chaque fois où l'on a terminé de faire 3 échantillons différents.

-On doit faire 3 essais pour un échantillon donc où on doit peser 0.5 g

-Eau salée : 500 g de NaCl + 1L d'eau distillée

Annexe 4 : Tableaux de résultats des analyses calcimétriques et ICP-MS

I. Les résultats de l'analyse calcimétrique effectuées sur les 60 échantillons :

ID	NUMERO		1	2	3	Moyenne	x	y	% CaCO3
1	MAN 20	GEO 01	78	64	77	73	0,326	32,589	65,179
2	MAN 20	GEO 02	37	28	27	30,667	0,137	13,690	27,381
3	MAN 20	GEO 03	27	36	35	32,667	0,146	14,583	29,167
4	MAN 20	GEO 04	107	107	106	106,667	0,476	47,619	95,238
5	MAN 20	GEO 05	97	96	98	97	0,433	43,304	86,607
6	MAN 20	GEO 06	55	55	48	52,667	0,235	23,512	47,024
7	MAN 20	GEO 07	128	122	125	125	0,558	55,804	111,607
8	MAN 20	GEO 08	102	98	102	100,667	0,449	44,940	89,881
9	MAN 20	GEO 09	58	60	57	58,333	0,260	26,042	52,083
10	MAN 20	GEO 10	45	46	40	43,667	0,195	19,494	38,988
11	MAN 20	GEO 11	70	75	76	73,667	0,329	32,887	65,774
12	MAN 20	GEO 12	10	10	10	10	0,045	4,464	8,929
13	MAN 20	GEO 13	4	8	8	6,6667	0,030	2,976	5,952
14	MAN 20	GEO 14	84	84	88	85,333	0,381	38,095	76,190
15	MAN 20	GEO 15	4	4	5	4,333	0,019	1,935	3,869
16	MAN 20	GEO 16	4	4	4	4	0,018	1,786	3,571
17	MAN 20	GEO 17	4	5	4	4,333	0,019	1,935	3,869
18	MAN 20	GEO 18	42	42	48	44	0,196	19,643	39,286
19	MAN 20	GEO 19	23	27	26	25,333	0,113	11,310	22,619
20	MAN 20	GEO 20	12	15	14	13,667	0,061	6,101	12,202
21	MAN 20	T01	20	18	18	18,667	0,083	8,333	16,667
22	MAN 20	T01	12	10	10	10,667	0,048	4,762	9,524
23	MAN 20	T01	22	20	18	20	0,089	8,929	17,857
24	MAN 20	T01	22	26	26	24,667	0,110	11,012	22,024
25	MAN 20	T01	10	10	16	12	0,054	5,357	10,714
26	MAN 20	T01	20	22	20	20,667	0,092	9,226	18,452
27	MAN 20	T01	37	42	38	39	0,174	17,411	34,821
28	MAN 20	T01	16	16	14	15,333	0,068	6,845	13,690
29	MAN 20	T01	8	8	10	8,667	0,039	3,869	7,738
30	MAN 20	T01	6	6	8	6,667	0,030	2,976	5,952
31	MAN 20	T01	6	7	6	6,333	0,028	2,827	5,655
32	MAN 20	T01	6	6	6	6	0,027	2,679	5,357
33	MAN 20	T01	6	7	6	6,333	0,028	2,827	5,655
34	MAN 20	T01	7	8	6	7	0,031	3,125	6,250
35	MAN 20	T01	8	10	12	10	0,045	4,464	8,929
36	MAN 20	T02	51	50	52	51	0,228	22,768	45,536
37	MAN 20	T02	46	43	42	43,667	0,195	19,494	38,988
38	MAN 20	T02	32	32	32	32	0,143	14,286	28,571
39	MAN 20	T02	38	38	42	39,333	0,176	17,560	35,119
40	MAN 20	T02	20	24	22	22	0,098	9,821	19,643
41	MAN 20	T02	20	22	24	22	0,098	9,821	19,643

42	MAN 20	T02	20	15	24	19,667	0,088	8,780	17,560
43	MAN 20	T02	13	16	18	15,667	0,070	6,994	13,988
44	MAN 20	T02	30	28	30	29,333	0,131	13,095	26,190
45	MAN 20	T02	10	12	12	11,333	0,051	5,060	10,119
46	MAN 20	T02	19	19	18	18,667	0,083	8,333	16,667
47	MAN 20	T02	18	18	18	18	0,080	8,036	16,071
48	MAN 20	T02	34	38	37	36,333	0,162	16,220	32,440
49	MAN 20	T02	28	26	30	28	0,125	12,500	25,000
50	MAN 20	T03	14	8	10	10,67	0,048	4,762	9,524
51	MAN 20	T03	9	8	9	8,67	0,039	3,869	7,738
52	MAN 21	T03	19	16	16	17	0,076	7,589	15,179
53	MAN 21	T03	12	12	17	13,667	0,061	6,101	12,202
54	MAN 21	T03	14	10	14	12,667	0,057	5,655	11,310
55	MAN 21	T03	18	18	18	18	0,080	8,036	16,071
56	MAN 21	T03	40	39	40	39,667	0,177	17,708	35,417
57	MAN 21	T03	52	43	48	47,667	0,213	21,280	42,560
58	MAN 21	T03	38	34	34	35,333	0,158	15,774	31,548
59	MAN 21	T03	18	19	20	19	0,085	8,482	16,964
60	MAN 21	T03	14	8	12	11,333	0,051	5,060	10,119

Tableau 01 : Résultats des analyses calcimétriques

Source : Laboratoire OMNIS, 2018

II. Les résultats de l'analyse ICP-MS

	ID LAB	Ag	As	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Nb	Ni	Pb	Sr	V	Y	Zn	Ta	Th	U
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
AMP-01	OMN-1	< 1	< 20	73	7	85	9	29416	< 10	< 10	14	44	234	142	9	38	< 10	126	48
AMP-02	2	< 1	< 20	46	< 5	93	7	13072	< 10	13	33	282	235	576	29	37	11	97	65
AMP-03	3	< 1	< 20	47	< 5	135	5	5264	< 10	< 10	11	38	131	34	7	39	< 10	114	< 10
AMP-05	4	< 1	< 20	216	5	351	5	4772	18	< 10	12	22	26	25	18	27	< 10	857	18
AMP-06	5	< 1	< 20	25	< 5	228	5	3434	11	< 10	8	29	28	14	5	23	< 10	102	< 10
AMP-08	6	< 1	< 20	624	< 5	219	5	3973	< 10	< 10	8	25	26	22	43	23	< 10	2857	33
AMP-10	7	< 1	< 20	338	< 5	171	6	3897	10	< 10	10	24	34	23	26	27	< 10	1431	20
AMP-11	8	< 1	< 20	690	5	168	5	3633	< 10	< 10	7	32	38	22	47	33	< 10	3077	35
AMP-12	9	< 1	< 20	51	9	138	8	32467	< 10	< 10	23	38	237	58	13	62	< 10	107	< 10
AMP-13	10	< 1	< 20	27	< 5	198	5	6178	10	< 10	9	40	184	31	5	56	< 10	93	< 10
AMP-14	11	< 1	< 20	29	5	90	11	7942	< 10	< 10	12	53	711	92	12	31	< 10	209	205
AMP-17	12	< 1	< 20	33	7	136	7	11618	< 10	< 10	22	65	346	165	91	39	< 10	193	563
AMP-18	13	< 1	< 20	33	12	230	7	8596	14	< 10	15	49	279	47	20	24	< 10	178	269
AMP-19	14	< 1	< 20	25	< 5	185	5	8450	11	< 10	12	50	316	33	29	30	< 10	120	437
AMP-20	15	< 1	< 20	34	8	140	5	9167	< 10	< 10	14	46	346	39	8	36	< 10	114	300
AMP-22	16	< 1	< 20	42	7	148	7	10140	< 10	89	22	57	246	106	17	28	< 10	133	60
AMP-23	17	< 1	< 20	70	7	162	8	12254	< 10	24	18	125	308	523	44	35	12	231	106
AMP-24	18	< 1	< 20	65	< 5	213	5	12377	10	< 10	14	49	248	335	18	36	< 10	179	32
AMP-25	19	< 1	< 20	86	5	220	8	11722	11	< 10	27	42	285	223	18	27	< 10	262	31
AMP-26	20	< 1	23	114	8	131	9	14989	< 10	10	15	58	374	101	16	34	< 10	277	60
AMP-27	21	< 1	< 20	122	11	212	13	29902	< 10	10	24	59	229	908	9	52	15	420	37
AMP-28	22	< 1	23	66	< 5	181	12	30615	10	< 10	17	50	236	119	38	34	< 10	353	321
AMP-29	23	< 1	< 20	41	< 5	145	6	7891	< 10	< 10	11	39	242	159	19	21	< 10	111	30
AMP-30	24	< 1	< 20	37	6	145	6	16146	< 10	< 10	19	53	236	147	19	37	< 10	75	53
AMP-31	25	< 1	< 20	65	7	124	5	10100	< 10	78	13	88	321	765	23	28	23	136	51
AMP-32	26	< 1	< 20	49	< 5	135	5	9988	< 10	53	14	73	277	417	10	26	12	102	30
AMP-33	27	< 1	57	38	12	180	8	41960	14	27	23	58	318	321	33	39	< 10	93	265
AMP-34	28	< 1	< 20	74	10	134	10	13538	< 10	17	16	68	213	713	39	28	14	323	119
AMP-35	29	< 1	20	52	9	178	8	11887	16	< 10	18	77	190	275	16	31	< 10	149	56

AMP-36	30	< 1	< 20	95	7	126	10	16088	< 10	66	23	115	241	614	30	43	19	153	50
AMP-37	31	2	< 20	20	5	104	7	9136	< 10	15	13	53	178	438	11	63	< 10	74	29
AMP-38	32	< 1	40	33	8	126	11	29514	10	15	21	38	301	127	47	49	< 10	101	196
AMP-39	33	< 1	168	31	6	121	8	52630	24	45	16	66	253	50	11	50	18	160	458
AMP-40	34	< 1	72	51	30	142	10	32622	11	29	30	52	292	193	71	37	10	105	167
AMP-41	35	< 1	20	29	5	114	6	9124	< 10	25	18	100	212	59	24	100	< 10	63	171
AMP-42	36	< 1	< 20	61	10	122	7	17596	16	25	17	194	282	284	163	127	< 10	371	321
AMP-43	37	< 1	< 20	39	10	55	8	16991	11	16	21	143	308	413	118	79	12	167	1499
AMP-44	38	2	< 20	52	17	75	15	27673	19	21	34	564	316	890	410	1139	< 10	210	4257
AMP-45	39	< 1	25	56	14	131	11	17586	30	< 10	18	87	189	371	35	357	< 10	200	186
AMP-46	40	< 1	< 20	49	8	43	6	8976	< 10	< 10	11	27	237	42	18	30	< 10	90	35
AMP-47	41	< 1	88	31	20	144	23	52677	< 10	< 10	38	49	273	604	291	33	13	99	401
AMP-48	42	< 1	< 20	18	< 5	114	5	7971	< 10	< 10	9	43	181	189	23	46	< 10	62	117
AMP-49	43	< 1	< 20	40	10	215	7	14922	10	< 10	13	31	288	196	17	32	< 10	238	53
AMP-50	44	< 1	< 20	54	5	106	6	9623	< 10	< 10	11	34	352	69	20	20	< 10	99	36
AMP-51	45	< 1	< 20	34	< 5	159	6	9551	< 10	< 10	13	32	276	58	22	22	< 10	116	195
AMP-52	46	< 1	34	29	6	91	7	30046	< 10	< 10	10	48	280	70	7	45	< 10	121	342
AMP-53	47	< 1	34	76	15	136	13	31220	< 10	< 10	24	50	247	95	29	42	< 10	209	86
AMP-54	48	< 1	< 20	51	7	71	7	7538	< 10	< 10	20	35	213	133	33	40	< 10	160	122
AMP-55	49	< 1	21	53	14	72	11	20458	< 10	< 10	19	85	147	169	90	54	< 10	157	108
AMP-56	50	< 1	50	67	47	127	11	31217	11	< 10	58	53	269	233	59	41	< 10	116	284
AMP-57	51	< 1	62	13	< 5	129	8	30073	< 10	< 10	12	62	302	656	18	30	12	61	168
AMP-58	52	< 1	< 20	59	7	161	9	8262	< 10	< 10	23	39	215	119	24	21	< 10	156	144
AMP-59	53	< 1	37	30	5	145	6	15017	< 10	< 10	11	34	261	56	105	18	< 10	112	207
AMP-60	54	< 1	21	75	10	92	11	19015	< 10	< 10	16	42	177	65	9	47	< 10	209	218
AMP-61	55	< 1	45	42	6	176	22	20324	13	< 10	15	44	206	57	45	34	< 10	94	243
AMP-62	56	< 1	< 20	26	< 5	129	5	7800	< 10	< 10	10	42	256	26	14	20	< 10	131	568
AMP-63	57	< 1	< 20	24	< 5	83	6	7810	< 10	< 10	8	66	257	306	8	81	< 10	73	55
AMP-64	58	< 1	< 20	22	< 5	154	5	7228	< 10	< 10	9	36	231	47	6	25	< 10	60	187
AMP-65	59	< 1	< 20	25	< 5	106	5	3038	< 10	< 10	9	43	163	88	9	24	< 10	43	478
AMP-66	60	< 1	38	59	12	126	7	17280	< 10	< 10	24	61	234	201	80	47	< 10	115	1019
AMP-67	61	< 1	32	28	12	224	11	10104	11	< 10	21	62	246	427	159	45	< 10	153	1992
AMP-68	62	< 1	27	60	13	74	11	14851	12	< 10	20	55	106	110	15	40	< 10	102	78

Tableau 02: résultat de l'ICP-MS

source : Laboratoire OMNIS 2018

Annexe 5 : Les principaux pays exportateurs et producteurs d'Uranium dans le monde

Il convient de distinguer les ressources des réserves en uranium naturel : les ressources regroupent la totalité des quantités de minerais identifiées dans le sol tandis que les réserves désignent la part de ces ressources dont l'exploitation économique est assurée dans les conditions actuelles. A ces réserves s'ajoutent des ressources spéculatives supplémentaires dont il ne sera pas fait mention cette fiche.

Les changements des cours de la bourse, l'évolution des infrastructures, les technologies, les décisions politiques peuvent faire baisser ou augmenter les évaluations des réserves d'uranium naturel disponibles dans le monde.

En 2011, l'Australie dispose de 31% des réserves prouvées d'uranium naturel dans le monde, soit près de 1 661 000 tonnes. Les autres pays possédant plus de 5% des réserves mondiales sont :Kazakhstan (12% des réserves mondiales) ;Canada (9%) ;Russie (9%) ;Niger (8%) ;Afrique du Sud (5%) ;Brésil (5%) ;Namibie (5%).

En 2012, huit compagnies se partagent 88% du marché de l'extraction de l'uranium dans le monde. Parmi elles, les trois plus importants producteurs d'uranium sont Cameco (Canada), Areva (France) et Kazatomprom (Kazakhstan).

Entreprise	Pays	Tonnes d'Uranium (tonne)	Pourcentage (%)
Cameco	Canada	8758	16
Areva	France	8319	16
Kazatomprom	Kazakhstan	8116	15
Rio Tinto	Australie	6293	12
ARMZ	Russie	4311	8
Uranium One	Canada	2855	5
Navoi	Ouzbékistan	2400	4
BHP	Australie	2330	4
Paladin	Australie	2089	4
Sopamin	Niger	1450	3
Autres		6742	13
Total		53663	100

Tableau 03: Les dix plus grand producteur d'uranium dans le monde

(**Source** : World Uranium Mining, 2011)

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES ABREVIATIONS	iii
LISTE DES TABLEAUX	iv
LISTE DES FIGURES, PHOTOS ET GRAPHERS	iv
FIGURES :	iv
PHOTOS :	iv
GRAPHERS :	v
REFERENCES	vii
 INTRODUCTION	 1
PARTIE I: GENERALITES	2
Chapitre I : GENERALITES SUR LE BASSIN SEDIMENTAIRE DE MORONDAVA.....	3
I. Définition d'un bassin sédimentaire	3
II. Les bassins sédimentaires de Madagascar	3
III. Localisation du bassin de Morondava.....	3
IV. Végétations, Climat.....	3
V. Contexte géologique	4
Les formations Karroo	4
Les formations Post- Karroo	4
VI. Hydrogéologie.....	5
VII. Géologie structurale du bassin de Morondava	5
Chapitre II : SITUATION GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE DANS LE BASSIN SEDIMENTAIRE DE MORONDAVA	7
I. Contexte géographique	7
II. Aperçu géologique.....	7
III. Géologie structurale et Morphologie de la zone d'étude	7
IV. Formation	8
V. Tectonique	8
Chapitre III : GENERALITES SUR LES MATIERES ORGANIQUES	9
I- Définition et Genèse	9
I-1-Définition	9

I-2-Genèse du pétrole	9
II. Les différents types de matières organiques.....	9
III- Les différents paramètres pour la préservation et la transformation des matières organiques	10
IV. Les différentes phases de maturation.....	10
Chapitre IV : ORIGINE ET MODE DE FORMATION DE L'URANIUM.....	11
I. Généralité sur l'Uranium	11
1. Chimie et Minéralogie de l'Uranium	11
2. Association de l'Uranium avec d'autres éléments	11
3- Géochimie de l'Uranium.....	11
II. Les différents types de Minéraux Uranifères	12
1-Les minéraux Uranifères Hypogènes	12
2-Les minéraux uranifères supergènes	12
III. Les types de minéraux d'Uranium existant à Madagascar	13
1-Les différents types de minéraux d'Uranium.....	13
2- La minéralisation Uranifère à Madagascar	14
3. L'Uranium dans la partie sédimentaire de Madagascar	15
PARTIE II : METHODOLOGIE DE DETERMINATION DU TAUX DES MATIERES ORGANIQUES ET DES DIFFERENTS ELEMENTS CHIMIQUES PRESENTS DANS QUELQUES ECHANTILLONS EN PROVENANCE DE LA ZONE D'ETUDE	17
Chapitre I : LA PRESENTATION DE METHODE ADOPTEE	18
LES INFLUENCES DE MATIERE ORGANIQUE SUR LA FORMATION DU MINERAL D'URANIUM.....	19
1. Les rôles des matières organiques	19
2- La matière organique associée au gisement d'Uranium	19
3 -Les différents types réactions entre matières organiques et l'uranium.....	20
3..1. Réaction de solubilité	20
3.2. Réaction de formation de complexe	20
3.3. Réaction d'oxydoréduction	20
3.4. Réaction de précipitation.....	20
4- Le comportement de l'Uranium au sein de l'environnement	20
Chapitre II : ANALYSE GRANULOMETRIE DE QUELQUES ECHANTILLONS VENANT DANS LA ZONE D'ETUDE DU BASSIN.....	22
I. Objectif	22
II- Matériels et Mode opératoire	22

III-Mode de calcul.....	23
1-Tableau des poids cumulatifs.....	23
2- Paramètres et indices granulométriques.....	23
a. Indices	23
b. Paramètres de position	23
c. Paramètre de dispersion :	24
d. Paramètre de forme	24
Chapitre III : DETERMINATION DE TAUX DE CARBONATE DE CALCIUM PAR LA METHODE DE CALCIMETRIE DE BERNARD	25
I. Principe	25
II. Matériels et mode opératoire	25
III- Mode de calcul de taux de CaCO_3	26
Chapitre IV : ANALYSE DE TAUX DES MATIERES ORGANIQUES	27
I. Les matériels	27
II. Mode opératoire.....	27
III. Calcul du teneur en MO	27
Chapitre V : ANALYSE CHIMIQUES DES ELEMENTS EN TRACE PAR ICP.....	28
I. Objectif et Matériels	28
II. Principe	28
III. Mode opératoire	29
PARTIE III : RESULTATS	30
Chapitre I : LES RESULTATS DES ANALYSES GRANULOMETRIQUES	31
I. Les résultats	31
II. Les indices et les paramètres granulométriques	32
1-Les paramètres granulométriques	32
2-Les indices granulométriques.....	32
Chapitre II: RESULTATS SUR LE CALCIMETRIE DE BERNARD	33
1. Les résultats des échantillons venant de la surface.....	33
2. Les résultats des échantillons venant de la tranchée 01.....	33
3. Les résultats obtenus à partir des échantillons de la tranchée 02	33
4. Les résultats des analyses provenant de la tranchée 03	33
Chapitre III : LE TAUX DES MATIERES ORGANIQUES ET LES RESULTATS DE L'ANALYSE CHIMIQUE.....	35
I. LE TAUX DES MATIERES ORGANIQUES	35

II. LES RESULTATS DE L'ANALYSE CHIMIQUE	36
1. Les éléments Cu, Fe, Ni, Co, Zn, Mo, Ag, Cr	36
2. Les éléments Y, Ta, Nb, As, Ce	36
3. Les éléments Th, V, Pb, U	37
PARTIE IV : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS	38
Chapitre I : NATURE DE MINERAUX D'URANIUM ET POTENTIEL EN ELEMENT EN TRACE.....	39
I. La nature et les propriétés du minéral	39
1. L'origine du gîte	39
a. La précipitation de la carnotite selon MANN en 1974	39
b. Locardi en 1974.....	39
2. Les propriétés.....	40
II. Le mode de formation des minéraux d'Uranium.....	40
1- Le rôle du carbonate de calcium	40
2- Le rôle des matières organiques.....	40
III. Les éléments chimiques existant au sein de la formation	41
Chapitre II :MATIERES ORGANIQUES ET POTENTIEL PETROLIER DU TERRAIN .	42
I. Le mode de transports des sédiments	42
1. La moyenne, le Skewness, le Trask	42
1.1. La moyenne	42
1.2. Skewness	42
1.3. Le Trask ou classement	42
1.4. La classe modale.....	42
2. Mode de transport	43
II. Le taux des matières organiques.....	43
III. Les environnements de dépôts	43
IV. Le mode de dépôt des sédiments	44
V. Le potentiel pétrolier	44
VI. RECOMMANDATION.....	45
1. Perspective d'exploitation de l'Uranium du site	45
2. Les avantages de la technique	45
CONCLUSION	46

REFERENCES.....	VIII
BIBLIOGRAPHIQUES.....	VIII
WEBORGAPHIQUES	VIII
ANNEXES	IX
Annexe 1 : Présentation de l'OMNIS	IX
Annexe 2 : TRAITEMENTS ET PREPARATIONS DES ECHANTILLONS	XIV
Annexe 3: Les processus de préparation des échantillons à analyser.....	XVII
Annexe 4 : Tableaux de résultats des analyses calcimétriques et ICP-MS	XVIII
Annexe 5 : Les principaux pays exportateurs et producteurs d'Uranium dans le monde	XXII

Nom : RADAVIDSON

Prénom : Fetraniaina

E-mail : fetraniaina44@gmail.com

Tel : 034 87 752 00 / 033 43 671 55

Nombre de page : 46

Nombre de figures : 06

Nombre de tableau : 11



**Titre : ETUDE DE RELATION ENTRE COMPOSE ORGANIQUE ET URANIUM
DANS UN SITE D'EXPLORATION URANIFERE D'UN DES BASSINS
SEDIMENTAIRES DE MADAGASCAR**

RESUME

Madagascar est riche en ressources minières et stratégiques comme l'Uranium et le pétrole. L'OMNIS en partenariat avec des compagnies minières et pétrolières étrangères procèdent à des différents travaux de recherche dans les régions présentant des indices uranifères et pétroliers comme l'IAEA, British Petroleum.

En effet, ce présent document a pour but de déterminer la possibilité de mode de formation de l'Uranium avec des matières organiques dans la partie du bassin de Morondava.

L'exploitation de ces ressources dites stratégiques sera une étape importante étape dans la phase de transition énergétique et économique de Madagascar en matière d'énergie comme l'électrification que les pays développés utilisent déjà comme source d'énergie principale.

Mots clés : Stratégiques, transition énergétique et économique, indices Uranifères

ABSTRACT

Madagascar abounds and rich in strategic mineral resources such as Uranium and oil. OMNIS, in partnership with foreign mining and oil companies, conducts various research projects in regions with uranium and petroleum indices such as the IAEA, British Petroleum.

In fact, this document aims to determine the way in which Uranium is formed with organic matter in the Morondava basin.

The exploitation of these so-called strategic resources will be an important step in Madagascar's energy and economic transition phase in terms of energy, such as the electrification that developed countries already use as a source of principal energy.

Keys words: Strategic, energy and economy transition, uranium indices