

Chapitre 2 : Les ressources et le potentiel miniers de Madagasikara

Noms des créateurs :

Monsieur ABRAHAM Tianamalala Luciano
et Madame Fenitra ANDRIAMANALINA

Date de création : 2022

Table des matières

I. La Métallogénie	1
1. Les gisements primaires.....	2
2. Les gisements secondaires	4
3. Classification des métaux :	6
II. Les ressources en Or	7
1. Les Propriétés physico-chimiques et utilisation de l'or.....	7
2. Origine et localisation de l'or à Madagasikara	8
III. Les ressources en métaux de base	11
1. Le fer :.....	11
a. Propriétés physico-chimiques et utilisation	11
b. Localisation de Fer à Madagascar.....	12
2. Le Nickel et cobalt	14
a. Propriétés physico-chimiques et utilisation	14
b. Le nickel et cobalt à Madagascar.....	15
3. Le cuivre	18
a. Propriétés physico-chimiques et utilisation du Cu	18
b. Localisation du Cu à Madagascar	20
4. Le chrome	23
a. Propriétés physico-chimiques du chrome	23
b. Le chrome à Madagascar	23

IV.	Les ressources en terre rares.....	26
1.	Colombo-tantalite.....	26
a.	Propriétés physico-chimiques et Utilisation.....	27
b.	Exploitation et localisation à Madagascar.....	27
2.	La monazite et Bastnaésite.....	28
3.	Utilisation des REE.....	29
4.	Localisation de REE à Madagascar.....	29
V.	Les ressources carbonées.....	31
1.	Le graphite.....	31
a.	Propriétés physico-chimique et utilisation.....	31
b.	Localisation à Madagasikara.....	32
2.	Le charbon.....	35
a.	Propriétés physico-chimiques et utilisation.....	36
b.	Localisation à Madagasikara.....	37
3.	Le pétrole.....	38
a.	La classification du pétrole.....	38
b.	Origine et exploitation.....	39
c.	Exploitation du pétrole.....	41
d.	La localisation à Madagascar.....	42
e.	Utilisation.....	43
VI.	Ressources en minéraux radioactifs.....	44
f.	Propriétés physico-chimiques et utilisation de l'uranium et du thorium	44
g.	Uranium.....	45
h.	Localisation de l'uranium et du thorium.....	46
VII.	Les ressources en fossiles.....	48

4.	Origine : fossilisation	48
5.	Localisation de fossiles à Madagascar	50
6.	Les bois silicifiés à Madagascar	51
VIII.	Les ressources en minéraux gemmes	53
1.	Le saphir de Madagascar	54
a.	Propriétés physico-chimiques	55
b.	les différents types de saphir.....	56
c.	Gisement de saphir et de rubis	57
2.	L'émeraude de Madagasikara	58
a.	Les variétés du Béryl.....	59
b.	Gisement d'émeraude	59
3.	La tourmaline	60
4.	Localisation des gemmes à Madagasikara	63
IX.	Géo tourisme	64
	Références :	66

Programme scolaire en Géologie

Durée : 6 semaines de 2 heures

Objectif général : L'apprenant doit être capable de déterminer la structure de la région représentée, et de localiser et estimer les ressources naturelles.

<ul style="list-style-type: none"> • Expliquer l'origine des métallogénies • Reconnaître les propriétés physico-chimiques des métallogénies • Localiser les gisements de métallogénies à Madagasikara • Valoriser la métallogénie et le potentiel minier de Madagasikara 	<p>LES RESSOURCES ET LE POTENTIEL MINIER DE MADAGASIKARA</p> <p>I- Métallogénie</p> <p>1- Les ressources en OR</p> <p>-Origine : Or primaire et Placers</p> <p>-propriétés physico-chimiques</p> <p>-localisation à Madagasikara</p> <p>-Utilisation</p> <p>2- Les ressources en métaux de base</p> <ul style="list-style-type: none"> • Origine • Propriétés physico-chimiques • Localisation à Madagasikara • Utilisation 	<ul style="list-style-type: none"> • Cartographier les 14 Districts aurifères de Madagasikara • Préciser la place de l'or sur la valeur monétaire de la banque centrale et son utilisation habituelle • Exemple : Cu, Plomb, Zinc, Fer, Chrome • Mettre en exergue les différents gisements des métaux de bases, métalloïdes et les minéraux gemmes de Madagasikara et leur utilisation (industrie de pointe et en joaillerie)
<ul style="list-style-type: none"> • Expliquer l'origine des minéraux gemmes • Reconnaître les propriétés physico-chimiques des minéraux gemmes • Localiser les gisements de minéraux gemmes à Madagasikara <ul style="list-style-type: none"> • Valoriser les minéraux gemmes et le potentiel minier de Madagasikara 	<p>3- Les ressources en Terres rares :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Origine • Propriétés physico-chimique • Localisation à Madagasikara • Utilisation <p>4- Les ressources en métalloïdes : Graphite</p> <ul style="list-style-type: none"> • Origine • Propriétés physico-chimiques • Localisation à Madagasikara • Utilisation <p>II- Les minéraux gemmes ou pierres précieuses</p> <ul style="list-style-type: none"> • Origine • Propriétés physico-chimiques • Localisation à Madagasikara • Utilisation 	<ul style="list-style-type: none"> • Ex : Monazite (terres cériques), Bastnaésite (cérium, ytrium), columbo-tantalate (vanadium, tantalium,...) <ul style="list-style-type: none"> • Exemples : Saphir, Rubis, Émeraude, Tourmaline.

Sciences de la Vie et de la Terre Terminale S

Deuxième partie : Géologie

Chapitre II : Les ressources et le potentiel miniers de Madagasikara

La ressource minière peut être une source de richesse économique pour un territoire. Le potentiel minier est une possibilité d'une région face à ses ressources minéralogiques, ses gisements miniers pour réaliser des projets d'envergure. Madagascar possède un potentiel minier très intéressant.

Les ressources minérales ont des applications familières et façonnent notre quotidien : bâtiments et travaux publics, moyens de transport, technologies de la communication, informatique, électronique,... Elles servent à élaborer les matériaux de la vie comme les métaux, le ciment et le plâtre, les tuiles et les briques, les verres, ...

I. La Métallogénie

La Métallogénie est la science des gisements métallifères basés sur l'analyse des paragenèses minérales (association de minéraux), sur leur succession et leurs évolutions chronologiques, en liaison avec l'histoire géologique des secteurs où sont situés ces gisements. Il s'agit de la

distribution spatiale et temporelle des gîtes minéraux, avec leurs intérêts économiques.

Métal : Élément chimique caractérisé par une forte conductivité thermique et électrique, un éclat particulier dit « éclat métallique », une aptitude à la déformation et une tendance marquée à former des cations (ions positifs : Fe^{2+} , Al^{3+} , ...). On parle également de métal d'un matériau constitué d'un de ces éléments chimiques ou de leur mélange (alliage) ce sont les objets en métal.

La gîtologie est l'étude des gîtes donc des gisements métallifères.

Le gisement est le lieu où un matériel géologique donnée s'est accumulé et que l'on peut exploiter en totalité ou en partie. Ex : Un gisement d'or, un gisement pétrolier,...

Les gisements des pierres précieuses ne se trouvent que dans certains contextes géologiques bien précis. Et en plus, pour qu'un gisement soit apprécié, il doit non seulement produire des gemmes de qualité irréprochable, mais en une quantité suffisante de manière à assurer sa rentabilité. On considère ici deux grandes catégories de gisements : les gisements primaires et les gisements secondaires

1. Les gisements primaires

Des gemmes peuvent apparaître dans des gisements d'origine magmatique. Ce sont des minéraux accessoires ou accidentels qui se sont développés en beaux cristaux. Ces gisements sont rares.

Les kimberlites sont des roches basiques issues des profondeurs du manteau supérieur qui, sous des pressions considérables, sont parvenues en surface. Ce sont les seuls gisements primaires exploités de diamants.

La plupart des gisements se produisent après la formation de leur roche-mère : on trouve les gemmes dans des filons, des roches métamorphiques ou dans des vides de diverses origines.

De nombreux filons sillonnent l'écorce terrestre. Ils sont issus de montées magmatiques dans les anfractuosités de la roche favorisant la circulation de gaz et permettant ainsi le développement de beaux et grands cristaux. Les cristaux d'améthyste proviennent de filons basaltiques.

Ce sont des marbres issus d'un métamorphisme de contact qui fournissent les corindons (rubis et saphir), à l'état primaire.

Les pegmatites sont des roches situées en bordure des granites dans lesquelles un processus lent de cristallisation à partir de gaz (appelé pneumatolyse) a permis la formation de beaux et grands cristaux.

Un gisement primaire peut être altéré par l'action lente et corrosive des eaux souterraines. Il en résulte un dépôt de minéraux dans des vides ou cavités de la roche. Sous nos latitudes et dans notre contexte géologique, les stalactites et stalagmites trouvées dans les grottes sont constituées de calcite. Dans d'autres régions, ce processus d'altération superficielle favorise de magnifiques dépôts de malachite (qui est, comme la calcite, un minéral de la classe des carbonates). Les veines de turquoise sont formées par un procédé similaire.

Les veines aurifères

Les veines sont des dépôts minéraux qui se forment lorsqu'une fracture ou fissure préexistante dans une roche hôte est remplie de nouveaux matériaux.



Figure 1: Veines Aurifères, Dépôts Hydrothermaux

2. Les gisements secondaires

Ils proviennent de la désagrégation due aux processus de l'érosion des gisements primaires, matériel qui sera par la suite déposé dans des alluvions. On les appelle placers ou gisements alluvionnaires. Ce sont des produits détritiques qui ont été remaniés et transportés par les eaux. L'action de celles-ci favorise la concentration, vers le bas, des matériaux denses alors que les minéraux qui sont légers et tendres peuvent être amenés au loin ou bien sont dissous. Des placers plus anciens, peuvent se situer sous d'autres couches de sédiments ou même de laves ; leur contenant n'est ainsi pas renouvelé.

On décèle d'abord la présence de gemmes, en surface. On estime ensuite la teneur et l'étendue du gisement. L'extraction de la roche qui contient les bruts s'effectue dans des mines souterraines ou à ciel-ouvert. On procède par la suite à un tri de manière à éliminer la gangue (ou roche-mère dans laquelle s'est formé le minéral).

Mine : Endroit d'où l'on extrait les minerais.

Minerai : C'est une roche, un minéral contenant un ou plusieurs éléments chimiques utiles, en teneurs suffisamment importantes pour permettre leur exploitation. Un minerai est un "Composé métallique tel qu'on le retire de la mine"

Un minéral un corps naturel inorganique ayant une formule chimique et des propriétés physico-chimiques bien définies. Les principales propriétés physiques qui servent à caractériser un minéral sont : la forme, le système cristallin, la couleur, la densité, la dureté, clivage...

Les métaux sont souvent classés en groupes distincts définis par leurs propriétés ou fonctions. Les noms de ces groupes ne sont pas exacts ou scientifiques, mais ils reflètent les utilisations habituelles ou leurs propriétés. On distingue les métaux précieux, les métaux de bases et les métalloïdes que l'on peut retrouver à Madagascar. Ces métaux (Le fer, le cuivre, le plomb, le zinc, l'aluminium, l'étain, le nickel...) ne se rencontrent pas dans le sous-sol sous forme de métal mais sous forme de composés (sulfures, oxydes, carbonates...) mêlés à des roches.

Les gisements intéressants à Madagascar se répartissent en 6 types : les métaux de base (nickel-cobalt, or, chrome, cuivre, fer), les Terres rares, les éléments radioactifs, les minéraux gemmes, les ressources carbonées, et les fossiles.

3. Classification des métaux :

La classification des éléments dans le tableau périodique des éléments regroupe les métaux comme le fer, le chrome,... et les métalloïdes comme le Bore, le Silicium et le Carbone (graphite) et les non métaux comme les gaz (l'argon : Ar) et les halogènes (le chlore : Cl).

Mais les métaux peuvent être classés autrement suivant leur valeurs, leurs utilités, leurs compositions,...

- Les métaux ferreux qui contiennent du fer et comprennent les aciers et la fonte.
- Les métaux non ferreux qui incluent des éléments pouvant être
 - précieux comme : l'or, le platine et l'argent ;
 - semi-précieux comme l'aluminium ;
 - métaux de bases comme : le cuivre, le zinc, le plomb et le nickel.

Les métaux précieux comprennent l'or, l'argent et le platine. Environ 90 pour cent de la production d'or proviennent de mines d'or. Les 10 pour cent restants sont des sous-produits de l'exploitation minière d'autres métaux tels que le cuivre ou le nickel. Les métaux précieux sont négociés sur les marchés mondiaux et sont utilisés dans une gamme d'applications allant de la joaillerie à l'électronique et les catalyseurs de voitures.

II. Les ressources en Or

L'or fait partie des métaux précieux.

1. Les Propriétés physico-chimiques et utilisation de l'or

L'or de symbole Au et de numéro atomique : 79 , est sans doute le métal le plus ancien travaillé par l'homme : des traces de son utilisation remontent à près de 6000 ans avant Jésus-Christ. Il est rare, donc cher, **malléable et résistant à l'oxydation**. L'or est un **excellent conducteur, capable de transporter les courants électriques les plus faibles, à des températures allant de -55 à + 200°C**. Il cristallise dans le système cubique.

Le prix élevé de l'or, lié à sa rareté, limite ses utilisations à l'industrie du luxe (la bijouterie consomme 75% de la production) et à l'électronique de pointe, l'informatique, ...



Figure 2: Utilisation de l'or

L'or est très apprécié par les banques centrales, qui s'en servent "comme une réserve de valeur à long terme" notamment car il se porte bien en temps de crise en servant de rempart contre l'inflation, explique l'analyste. En période d'incertitude économique ou de volatilité des marchés financiers, le métal précieux joue pleinement son rôle de protection. En outre, détenir de l'or permet aux banques centrales d'accroître la confiance en leur monnaie et leur économie nationale.

L'utilisation industrielle la plus importante de l'or est connue dans la fabrication de produits électroniques. Les appareils électroniques que nous utilisons chaque jour contiennent de l'or. Il est le chef d'orchestre très efficace qui peut transporter des petits courants. Les composants électroniques fabriqués avec de l'or sont très fiables. L'or est utilisé dans des connecteurs, des commutateurs, des contacts de relais, des joints soudés, des fils de connexion et des barrettes de connexion.

Une petite quantité d'or est usée dans presque tous les appareils électroniques sophistiqués. Il s'agit entre autres des téléphones cellulaires, des calculatrices, des assistants numériques personnels, du système de positionnement global (GPS), et d'autres petits appareils. La plupart des gros appareils électroniques tels que les téléviseurs renferment aussi de l'or.

2. Origine et localisation de l'or à Madagasikara

A Madagascar, l'or est présent dans la plupart des zones du socle cristallin (Rambelison, 1999), tant dans les formations d'âge Archéen que Protérozoïque. Les roches basiques sont particulièrement favorables aux concentrations aurifères, où les minéralisations apparaissent soit dans des niveaux conformes, soit dans des veines, filons, ou encore sous forme disséminée.

Pour plus de connaissance <https://www.mcours.net/cours/pdf/hascl1/hascl1650.pdf>

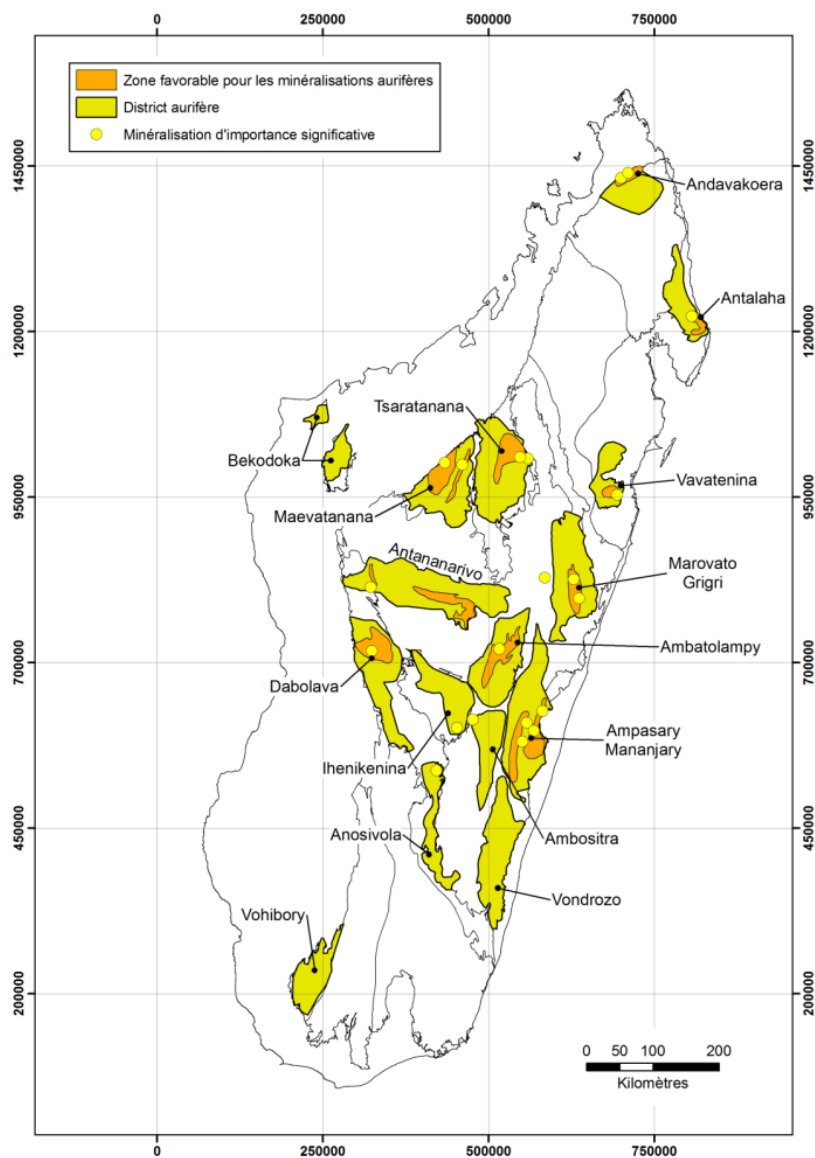


Figure 3: Carte n° : 5 de gisement aurifère de Madagascar

Les gisements de l'or peuvent être primaires ou secondaires dans des placers. Placers : Gisement secondaire de roches sédimentaires, le plus souvent d'origine alluvionnaire, produisant des métaux et des minéraux lourds, notamment de l'or et des pierres précieuses.

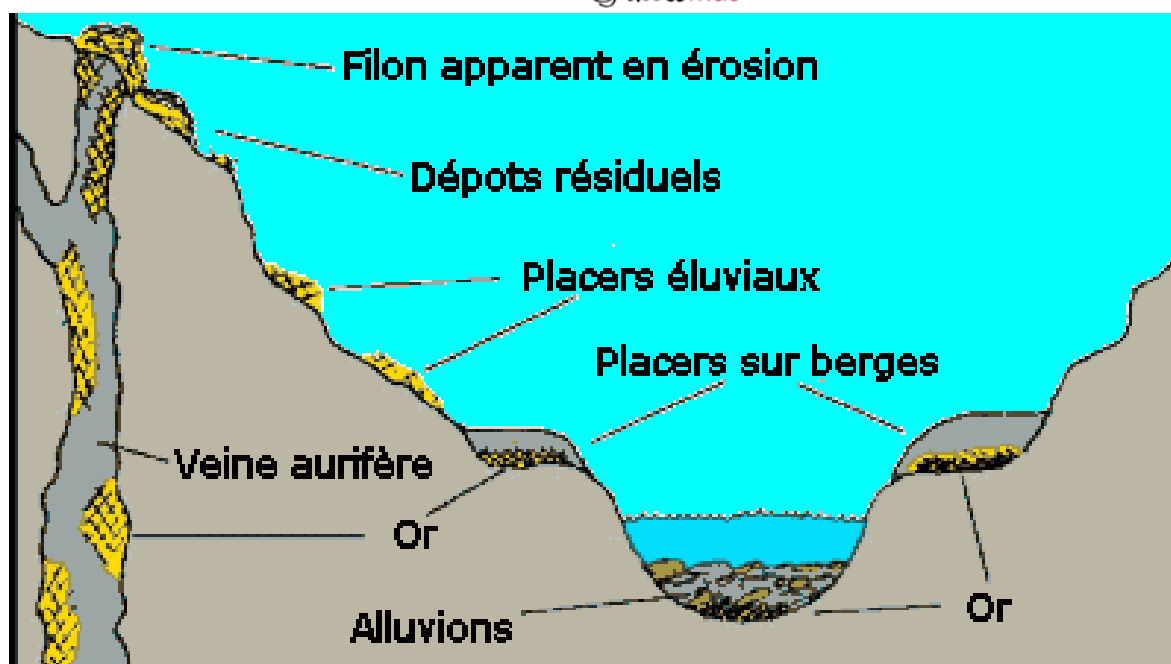


Figure 4: Gisement de l'or

Source : <https://prenezlesfeuilles.com/storage/ZgJaW2DkgzogXRUB5zoMuDvQ0mjaJnCgbTVTCJ6J.gif>

Une fois libéré du filon par l'érosion, l'or constitue des dépôts résiduels qui migrent vers des placers éluviaux proches puis au fond des vallées dans les alluvions des cours d'eau, transporté jusque-là par la gravité et les éléments (vents, ruissellement, glaciers).

L'or des cours d'eau aurifères a aussi et parfois pour seule origine le ruissellement sur des paléo-placers dispersés dans le ciment des conglomérats, dans l'argile ou dans un lit fossile de cours d'eau.

La désagrégation de filons aurifères dans le lit même du cours d'eau et la précipitation d'or dissout sur des grains existants, sont aussi des sources d'alimentation aurifère.

Très souvent le gîte principal dit primaire n'existe plus et l'or provient du ruissellement sur des placers fossiles dits secondaires dans les sédiments des terrains adjacents au cours d'eau.

III. Les ressources en métaux de base

Les métaux de base sont les métaux communs utilisés dans l'industrie, on les trouve en plus grande quantité dans la croûte terrestre que les métaux précieux. Ce sont : le fer (qui vont donner les métaux ferreux), le cuivre, le plomb et le zinc, l'aluminium. Les formes affinées de ces métaux sont couramment négociées dans les marchés du monde dans une variété de formes et de tailles normatives. Ils constituent les matériaux de construction de bases pour la grande majorité des éléments qui nous entourent.

1. Le fer :

Le fer de symbole Fe numéro atomique 26 est tiré du sous-sol, le fer est le métal le plus commun sur terre. Il cristallise dans le système cubique. C'est aussi l'un des métaux les plus importants, ayant donné son nom à un âge de l'humanité (Age du Fer). Il a un coût faible, son abondance et ses propriétés remarquables font de lui l'un des éléments les plus utilisés dans l'industrie.

a. Propriétés physico-chimiques et utilisation

Le fer « **rouille** » **facilement** : son oxydation au contact de l'oxygène de l'air est rapide et conduit à sa destruction totale.

Le fer n'est utilisé pur, la plupart du temps il est allié à d'autres éléments donnant le groupe des **métaux ferreux** formé par le Fer + Carbone + éléments d'addition (nickel, chrome, etc.). On distinguera deux sous-familles suivant la teneur en carbone :

- Les aciers dont la teneur en Carbone d'un acier est inférieure à 2%. L'acier inoxydable contient souvent 11% de chrome. Un acier a un point de fusion plus élevé (2500-2800 degrés contre 2200 pour la fonte).

- La fonte dont la teneur en carbone est supérieure à 2% mais elle contient également de silicium à 3%, ce qui améliore ses performances de coulée. Elle est plus résistante à la corrosion et aux chocs.



b. Localisation de Fer à Madagascar

Les zones à potentiel majeur de fer à Madagascar se localisent dans la région de Soalala où le fer provient des quartzites à magnétite archéennes, dans le groupe de Vondrozo (Domaine Antananarivo), dans la zone de Fasintsara, de Maevatanana, de Mantasoa, de Mananjary et d'Ikalamavony.

Le fer, les réserves de Soalala (au Sud de Mahajanga-Nord-Ouest) sont estimées à 360 millions de tonnes avec une teneur de 35% de fer. Le gisement de Bekisopa à l'Ouest de Fianarantsoa (Centre-est) contient des réserves estimées à 10 millions de tonnes avec une teneur de 60%.

Enfin, la réserve du gisement de fer à Fasintsara à l'Ouest de Mananjary est estimée à environ 100 millions de tonnes à 35% et celle de Betioky estimée à 30 millions de tonnes avec 24% de teneur, selon des chiffres de la chambre des mines.

<https://www.aa.com.tr/fr/economie/madagascar-une-exploitation-optimale-des-tr%C3%A9sors-miniers-r%C3%A9volutionnera-la-condition-d-un-peuple/15630>

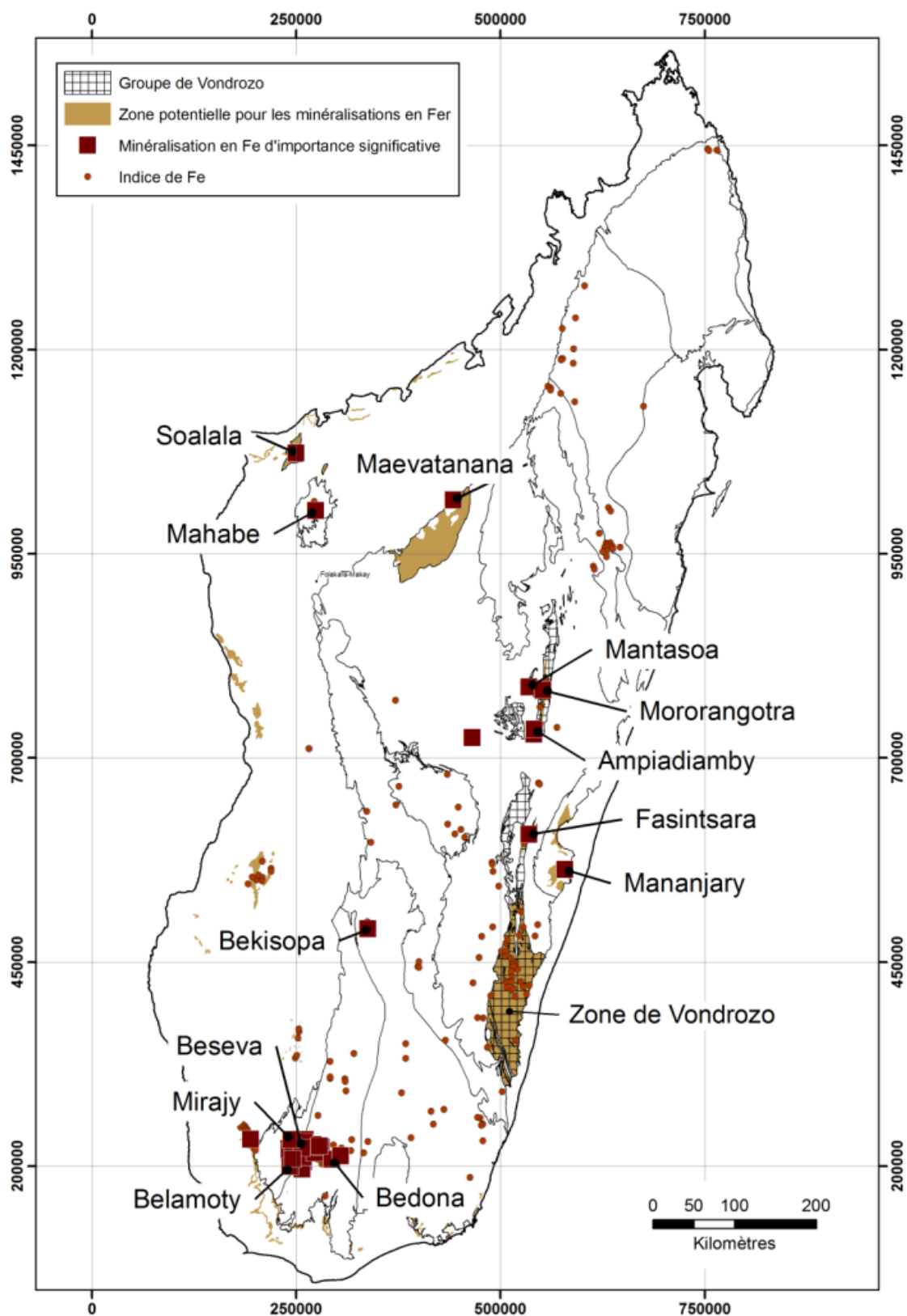


Figure 5: Carte n°8: Carte des indices et du potentiel en Fer (Fe) de Madagascar

Remarque : Les métaux non ferreux :

L'absence de fer dans les métaux non ferreux leur confère un avantage certain sur leurs homologues ferreux : ils sont moins sujets à la rouille et à la corrosion. De plus, ils sont plus souples et peuvent être façonnés plus facilement. C'est pourquoi ils sont souvent utilisés dans les systèmes de gouttières, les tuyaux de transport de liquide et d'autres applications ou sont exposés à l'humidité. Voici quelques exemples de métaux non ferreux.

2. Le Nickel et cobalt

Le nickel et cobalt sont des métaux que l'on associe à d'autres métaux de manière à leur conférer des propriétés physiques particulières.

a. Propriétés physico-chimiques et utilisation

Le nickel est un métal blanc brillant, relativement dur, malléable et ductile. Le nickel s'oxyde difficilement à l'air, car il est protégé par une mince couche d'oxyde ainsi il résiste bien à la corrosion.

Le nickel de symbole Ni et de numéro atomique 28, possède 5 isotopes stables dont ^{58}Ni , et 7 isotopes radioactifs identifiés, dont le nickel 78.

Le nickel est essentiellement connu pour son utilisation dans les aciers inoxydables.

Le cobalt de symbole Co et de numéro atomique 27 est un métal gris qui permet de teinter le verre en bleu sombre. Une couleur bleue intense très appréciée. Il fait partie des métaux de transitions.

Le cobalt est considéré comme matériau stratégique pour l'industrie. On le retrouve notamment dans les turbines à gaz, fabriquées avec des alliages de fer, cobalt et nickel. Il permet aussi de former des alliages de fer, cobalt et nickel. Il permet aussi de former des alliages durs résistants à la corrosion. On

emploie également le cobalt dans certains accumulateurs, particulièrement dans les électrodes. C'est aussi un élément majeur pour les aimants et les supports magnétiques pour l'enregistrement.

Quant au bleu de cobalt, on l'emploie depuis l'Antiquité pour la porcelaine de Chine. C'est le même élément qui donne son bleu à la porcelaine de Saxe.

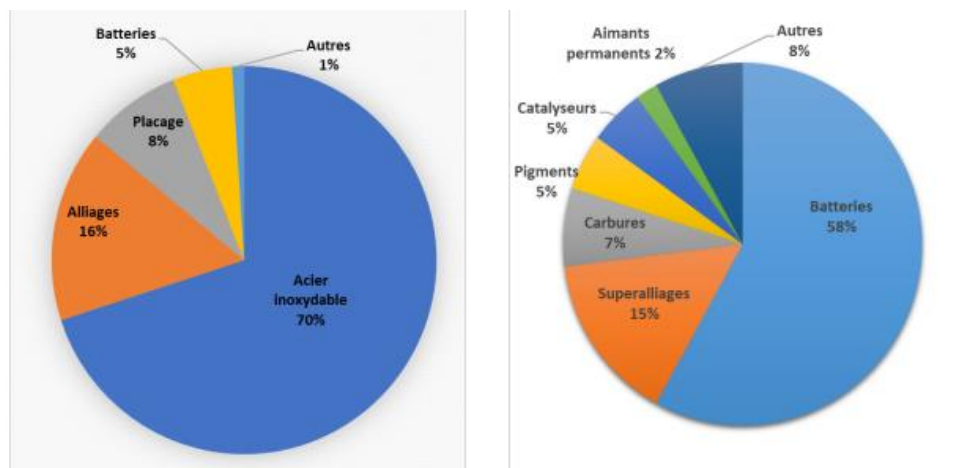


Figure 6: Utilisation Nickel (diagramme 1 en 2020) et cobalt (diagramme 2 en 2019)

Source : https://cerm.uqac.ca/trcm/wp-content/uploads/sites/4/2021/05/FI_16_Ni-Cu-Co_FINAL_MAI2021.pdf

b. Le nickel et cobalt à Madagascar

Les roches intrusives basiques et ultrabasiques d'âge Archéen de Madagascar contiennent l'essentiel des gisements et indices en Cr ainsi que quelques minéralisations de Ni-Co. Ces corps intrusifs sont fréquents dans le domaine d'Antananarivo des secteurs d'Andriamena et de Befandriana-Mandritsara, ainsi que dans le domaine d'Antongil dans le secteur de Toamasina.

Ambatovy située à Madagascar à une dizaine de kilomètre nord-est de Moramanga dans la région d'Alaotra-Mangoro, à environ 80km à l'est d'Antananarivo, et à 11km de Toamasina, est l'une des grandes mines de nickel latéritique au monde avec une capacité de production de 60000 tonnes de matériaux de construction de haute qualité et de nickel, 5600t de



cobalt et 190000t d'engrais au sulfate d'ammoniaum. La durée de vie du projet Ambatovy est de 30 ans avec une durée de vie de la mine 27ans et une période de construction de 3ans.

Pour plus d'information : <https://projectsportal.afdb.org/dataportal/VProject/show/P-MG-BAA-002?lang=fr>

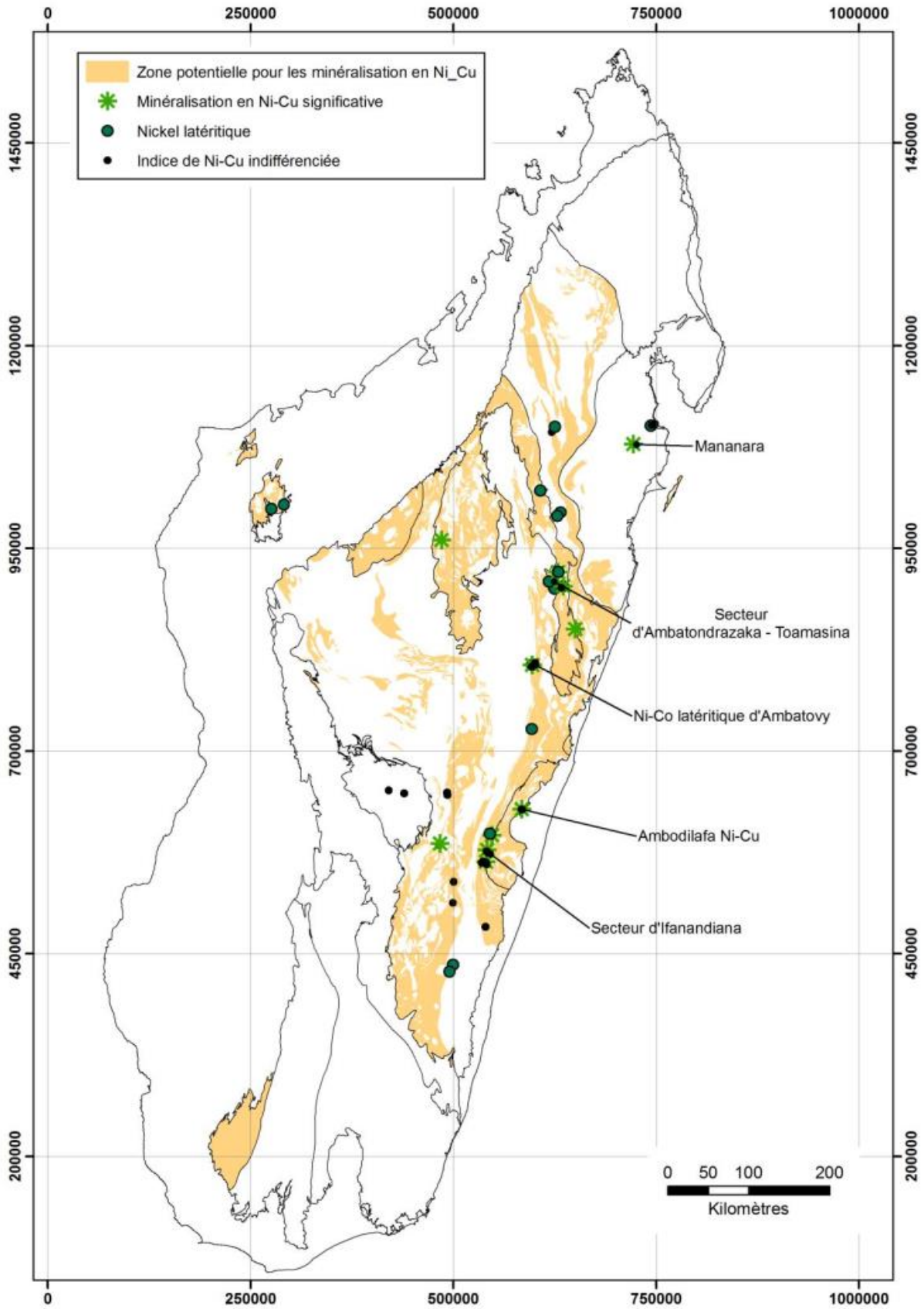


Figure 7: Carte n° 4 de gisement Nickel-Cobalt de Madagascar

Remarque : Madagascar produit également l'ilménite (espèce minérale formée d'oxyde minéral de fer et de titane). Aujourd'hui, 90% de la production d'ilménite est utilisée dans la fabrication de peintures, de plastique et de papiers sous forme de pigment blanc et les 10% restants sont utilisés dans l'industrie de l'automatique et aéronautique sous forme de titane métal, d'après la même source. En 2000, un gisement d'ilménite a été découvert au nord de Tuléar (Sud-ouest) avec une production attendue de 560 000 tonnes.

3. Le cuivre

Le cuivre est un métal de couleur rouge doré, utilisé par l'homme très tôt au cours de son histoire, dès la fin du Ve millénaire. Bien que le cuivre puisse être trouvé à l'état naturel, ses sources les plus importantes sont les minéraux cuprites, l'azurite et surtout la malachite (environ 90% du cuivre primaire provient de minerais sulfurés).

Plus solide que l'or, le cuivre est un des seuls à être présent sous forme de métal à côté de sa forme minérale, nécessitant peu de traitements annexes pour son extraction. Le cuivre pur est plutôt mou, malléable et présente sur ses surfaces fraîches une teinte rosée à pêche.

a. Propriétés physico-chimiques et utilisation du

Cu

Le cuivre est un élément chimique dont le symbole est Cu. Numéro atomique : 29. C'est un métal ductile possédant une conductivité électrique et thermique particulièrement élevées qui lui confèrent des usages variés, des applications dans l'industrie électrique, dans les toitures, les roulements à billes et les sculptures.

Sa malléabilité permet de le déformer facilement pour en faire des tuyaux, des pièces de monnaie et aussi des armes, mais aussi des fils électriques.

Il intervient également comme matériau de construction et entre dans la composition de nombreux alliages bronze (cuivre/étain) ; laiton (cuivre/zinc). Ils sont utilisés pour fabriquer des robinets et d'autres matériels de plomberie.

cuivre + zinc	=	LAITON
cuivre + étain	=	BRONZE
cuivre + aluminium	=	CUPRO-ALUMINIUM
cuivre + nickel	=	CUPRONICKEL
cuivre + nickel + zinc	=	MAILLECHORT

Figure 8: Les alliages du cuivre

Le laiton est fabriqué en combinant le cuivre et le zinc. On le trouve couramment dans les raccords et les prises électriques, les charnières, les serrures et la plomberie.



Figure 9: Objet de collection en laiton

Source : <https://previews.123rf.com/images/alisbalb/alisbalb1403/alisbalb140300108/26898504-divers-collection-d-objets-en-laiton-et-cuivre-isol%C3%A9-sur-blanc.jpg>



Figure 10: Quelques objet en cuivres

b. Localisation du Cu à Madagascar

Les indices et le potentiel à Cu se trouvent dans les roches basiques à ultrabasiques. Environ 150 indices à Cu sont recensés à Madagascar, beaucoup d'entre eux étant de nature alluviale. Le secteur idéal pour trouver de grandes minéralisations à Cu serait dans des sédiments cuprifères des

bassins du Protérozoïque. Les principales zones qui renferment de grandes minéralisations à Cu sont : la zone de Daraina au nord, la zone d'Antasabe-Ankera, le sous-domaine d'Itremo, les basaltes du Crétacé dans le bassin de Mahajanga et le Domaine de Vohibory. Le gisement d'Ambatovarahina se localise dans le sous-domaine de l'Itremo.

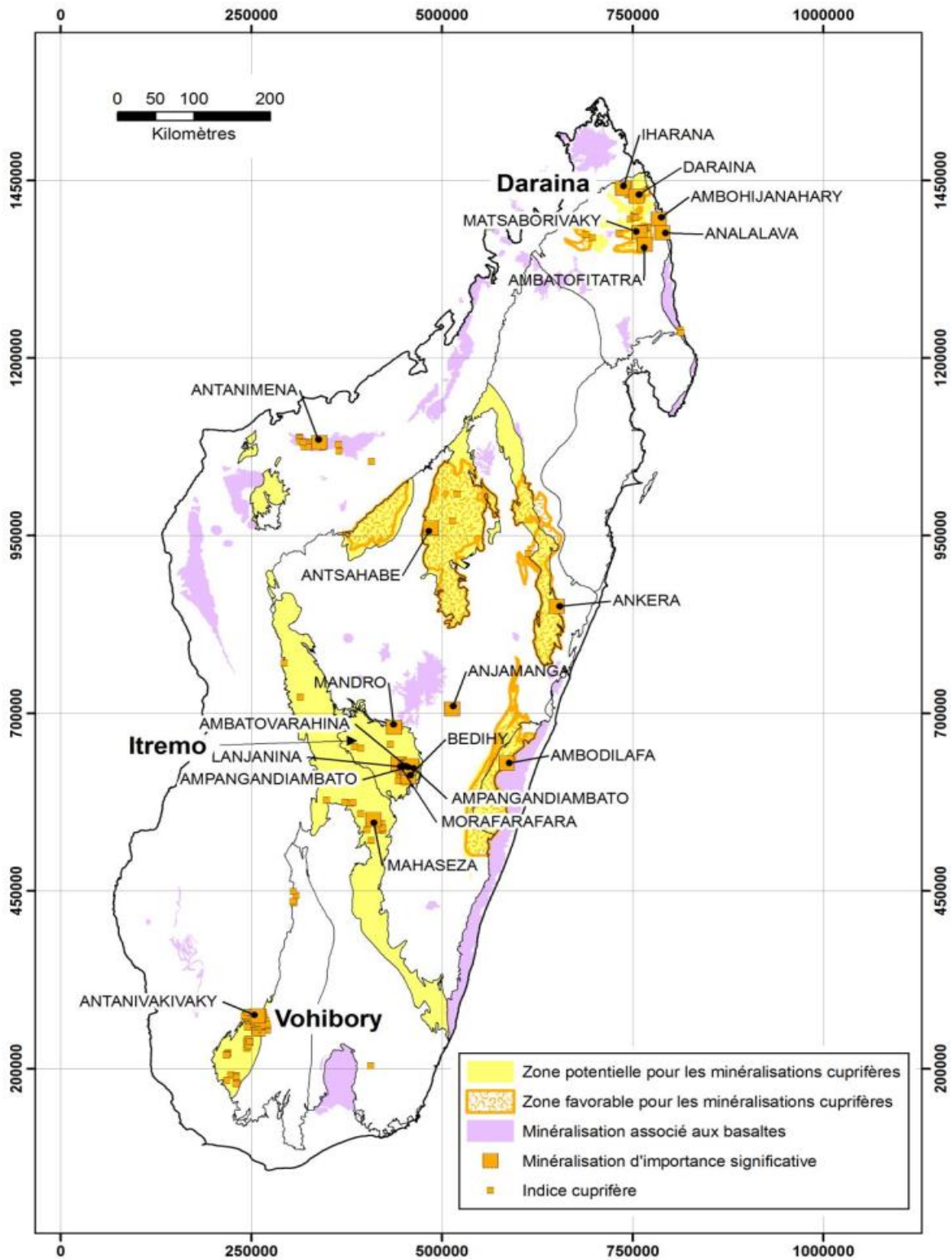


Figure 11: Carte n°7 : Carte des indices, gisements, zones potentielles et favorables en Cu de Madagascar

4. Le chrome

Le chrome est un métal de transition parmi les 30 éléments chimiques de numéro atomique 21 à 30, 39 à 48 et 71 à 80. Ce nom provient de leur position dans le tableau périodique des éléments.

a. Propriétés physico-chimiques du chrome

Le chrome de symbole Cr et de numéro atomique 24 se présente sous la forme d'un métal gris acier et dur. Sa maille cristalline est le cubique. Sa principale particularité est de résister au ternissement et à la corrosion. L'utilisation du chrome la plus connue est sans doute en métallurgie, pour donner un rendu brillant en plus d'améliorer la résistance à la corrosion. Le chrome fait rutiler (briller) les pare-chocs, est aussi très présent dans les peintures. Son nom fait référence à la couleur (blanc argenté : effet chrome).



Source : <https://cdn.futura-sciences.com/sources/images/chromagemotocwiki.jpg>

b. Le chrome à Madagascar

Les plus grandes ressources de chromite de Madagascar sont situées dans le district d'Andriamena. Des indices de chrome sont également connus dans le domaine néoprotérozoïque du Vohibory ausud de Madagascar. Les plus importants gisements de chromite sont interprétés comme des minéralisations stratiformes. Elles sont situées dans les secteurs d'Ankazotaolana et de Bemanevika, qui furent deux importants gisements **exploités par la KRAOMA.**

La Grande Ile compte, également, deux grands gisements de Chrome (utilisé dans la fabrication d'acier inoxydable, dans la coloration et la peinture, et pour améliorer l'amélioration de la résistance à la corrosion.

Le premier gisement, celui d'Ankazotaolana (Centre-est) avec une réserve de 2,3 millions de tonnes est déjà épuisé et le deuxième est celui de Bemanevika (centre-est).

Le chrome de Madagascar est exporté principalement vers la Chine. La capacité de production étant de 150 000 tonnes par an.

<https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-chrome-4691/>



Figure 12: Un des sites de Kraoma, à Madagascar

Source : [https://www.jeuneafrique.com/cdn-](https://www.jeuneafrique.com/cdn-cgi/image/q=100,f=auto,metadata=none,width=655,height=395/https://www.jeuneafrique.com/medias/2019/04/24/krao.jpg)

[cgi/image/q=100,f=auto,metadata=none,width=655,height=395/https://www.jeuneafrique.com/medias/2019/04/24/krao.jpg](https://www.jeuneafrique.com/medias/2019/04/24/krao.jpg)

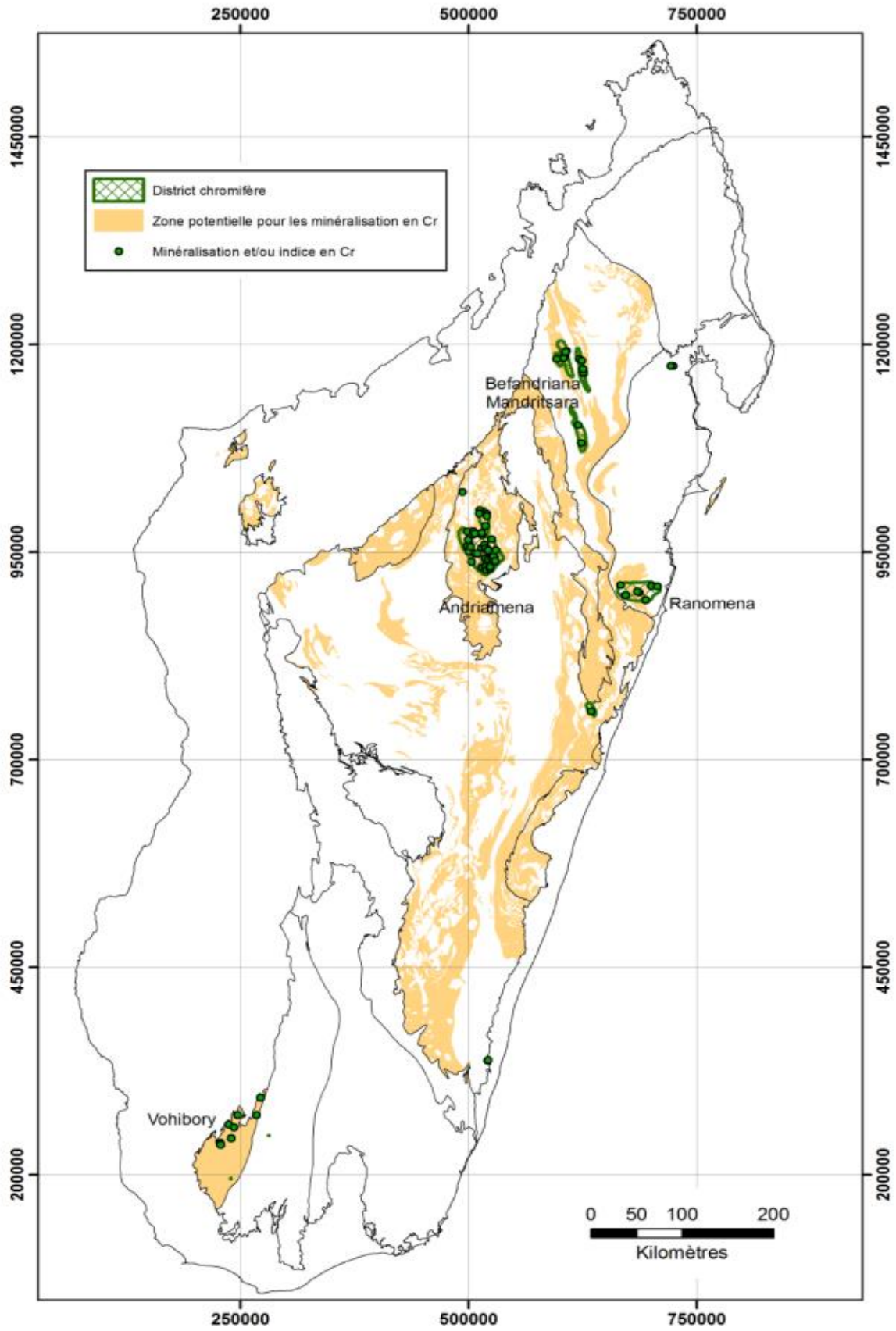


Figure 13: Carte de gisement chromifère de Madagascar

IV. Les ressources en terre rares

Les terres rares, de symbole REE (pour l'anglais Rare-Earth Element) sont présentes un peu partout dans la croûte terrestre. Leur rareté désigne leur très faible concentration, qui nécessite l'extraction de grands volumes de matière. Globalement l'extraction, la purification, le traitement et la séparation des terres rares sont coûteux en énergie, en eau et en produits chimiques.

Elles comprennent le scandium, l'yttrium, le lanthane et les 14 éléments (les lanthanides) qui suivent le lanthane dans le tableau périodique.

Ex : Monazite (terres cériques), Bastnaésite (cérium yttrium), colombo-tantalite (vanadium, tantale...)

1. Colombo-tantalite

La tantalite, $(\text{Fe},\text{Mn})\text{Ta}_2\text{O}_6$, et la colombite (on écrit aussi colombite), ou niobite $(\text{Fe},\text{Mn})\text{Nb}_2\text{O}_6$ constituent une série de mélanges minéraux isomorphes : les colombo-tantalites. Les teneurs en colombo-tantalates, ou niobo-tantalates, et en ferromagnésiens varient beaucoup, et même à l'intérieur d'un gîte de petite dimension. À cette série on trouve quelquefois associés l'étain, le tungstène et le titane. L'uranium, l'yttrium et les terres rares sont toujours absents.

Ils ont une couleur noire à noir brunâtre, un éclat submétallique et ils laissent un trait brun à noir rougeâtre sur la porcelaine. Il est difficile de reconnaître la colombite et la tantalite d'après leur seul aspect extérieur. On peut facilement les confondre avec l'ilménite, la wolframite, l'orthite, la samarskite et autres colombo-tantalites riches en terres rares et en éléments

radioactifs. Enfin, ils ne fondent pas au chalumeau et sont insolubles dans les acides.

a. Propriétés physico-chimiques et Utilisation

La tantalite et la colombite (ou niobite) sont des Minerais de Niobium de symbole et numéro atomique ^{41}Nb et ^{73}Ta . Le Nb et le Ta sont des métaux de transition gris.

Le tantale entre dans la composition de superalliages (16% de la consommation) pour les turbines des moteurs d'avions, les turbines à gaz et les réacteurs nucléaires. Il est aussi utilisé dans les installations et les équipements industriels exposés aux hautes températures et à la corrosion.

Le niobium est surtout utilisé en alliage d'acier inoxydable pour les réacteurs nucléaires, les gicleurs, les missiles, les outils de coupe, les canalisations, les super aimants et les tiges de soudure.

b. Exploitation et localisation à Madagascar

La colombite et la Tantalite sont les principales sources de Tantale et de Niobium exploitée à Madagascar en 1951. Cette exploitation a été interrompue en 1963 mais la forte demande sur le marché mondial a permis aux opérateurs miniers de reprendre l'exploitation.

L'existence de champs pegmatitiques à béryl industriel, réparti dans le territoire de Madagascar a favorisé l'exploitation de la colombite et la tantalite.

http://biblio.univ-antananarivo.mg/pdfs/rafanomezantsoaAndo_CH_MAST2_16.pdf

Remarque : En 2010, la réserve mondiale de Tantale a été estimée à moins de 500.000 tonnes de métal et la réserve de Niobium à 10.000.000 de tonnes [2] [5]. Il est à remarquer que certains minerais de Tantale et de Niobium sont radioactifs ; dû à la présence du Thorium et de l'Uranium [2] [5].

<https://www.rapport-gratuit.com/methode-d'extraction-du-tantale-et-du-niobium-a-partir-de-la-colombite/>

2. La monazite et Bastnaésite

La Monazite est le nom de quatre minéraux :

- La monazite-(Ce), (Cérium 58)
- La monazite-(La), (Lanthane 57)
- La monazite-(Nd), (Néodyme 60)
- La monazite-(Sm). (Samarium 62)

La plus connue est la monazite-(Ce). La monazite contient également de thorium. Ainsi la monazite est un minerai de Cérium, de thorium (Th 90).

Le cérium est un métal argenté malléable, le cérium ressemble visuellement au fer et s'oxyde rapidement à l'air comme le lanthane, un de ses voisins dans le tableau périodique. À son point de fusion et à température ambiante, le cérium liquide affiche une densité plus importante que le cérium solide.

Comme plusieurs autres terres rares, le cérium entre dans la composition du mischmétal, base des pierres à briquet. La poudre de son oxyde est très appréciée pour polir le verre. Dans les filtres à particules, le cérium permet de diminuer les rejets de gaz nocifs des moteurs Diesel. Le revêtement des fours autonettoyants est en cérium.

Le cérium est la terre rare la moins rare sur Terre. En effet, son abondance sur notre planète est comparable à celle du cuivre.

Remarque : Des indices de bastnaésite un minerai de Cérium comme la monazite a été signalé dans la région d'Ambatofinandrahana, liés à des filons intrusifs.

3. Utilisation des REE

En général, **les terres rares** sont omniprésentes, surtout dans quatre secteurs industriels :

- Numérique (téléphones portables, disques durs, écrans) ;
- Énergie (turbines d'éoliennes en mer, moteurs de voitures électriques et hybrides) ;
- Médical (appareils, robots) ;
- Armement.

Leurs usages sont diversifiés (données pour 2021) :

- le premier (31%) étant les aimants permanents (utilisés dans les générateurs, les volants magnétiques, les alternateurs, les moteurs de jouets, d'horlogerie) ;

- les catalyseurs (18%) (utilisés dans les pots catalytiques des voitures) ;

- les alliages métallurgiques (18%) (utilisés dans la construction aéronautique, militaire, médicale, etc.) ;

- le polissage (13%) (utilisé sur la surface de nombreux produits industriels) ;

- les verres et céramiques (11%) ;

- le reste représentant 9%. (Des vernis, des lasers, des tubes cathodiques ainsi que dans le raffinage pétrolier)

4. Localisation de REE à Madagascar

Des gisements de Terres Rares (REE) sont présents à Madagascar :

La monazite se trouve soit dans des placers et des sables de plage de Fort Dauphin, soit dans les chaînes granito-charnockitiques anosyennes ; elle peut être liée à des complexes intrusifs alcalins à per-alcalins

d'Ambatofinandrahana. Les minéralisations en bastnaésite (Hexagonal) et monazite (monoclinal) de la région d'Ambatofinandrahana s'étendent dans une bande est-ouest d'environ 50 km de long et 20 km de large.

Columbo-Tantalite :

Les minéraux de la série colombite-tantalite sont associés à des gisements de type magmatique acide. On les rencontre le plus souvent dans les filons pegmatitiques. De nombreuses pegmatites de Madagascar contiennent une importante minéralisation en Columbo-Tantalite. Les champs les plus connus sont ceux d'Ankazobe et de Tsaratanana (Berere) et presque l'île d'Amipasindava.

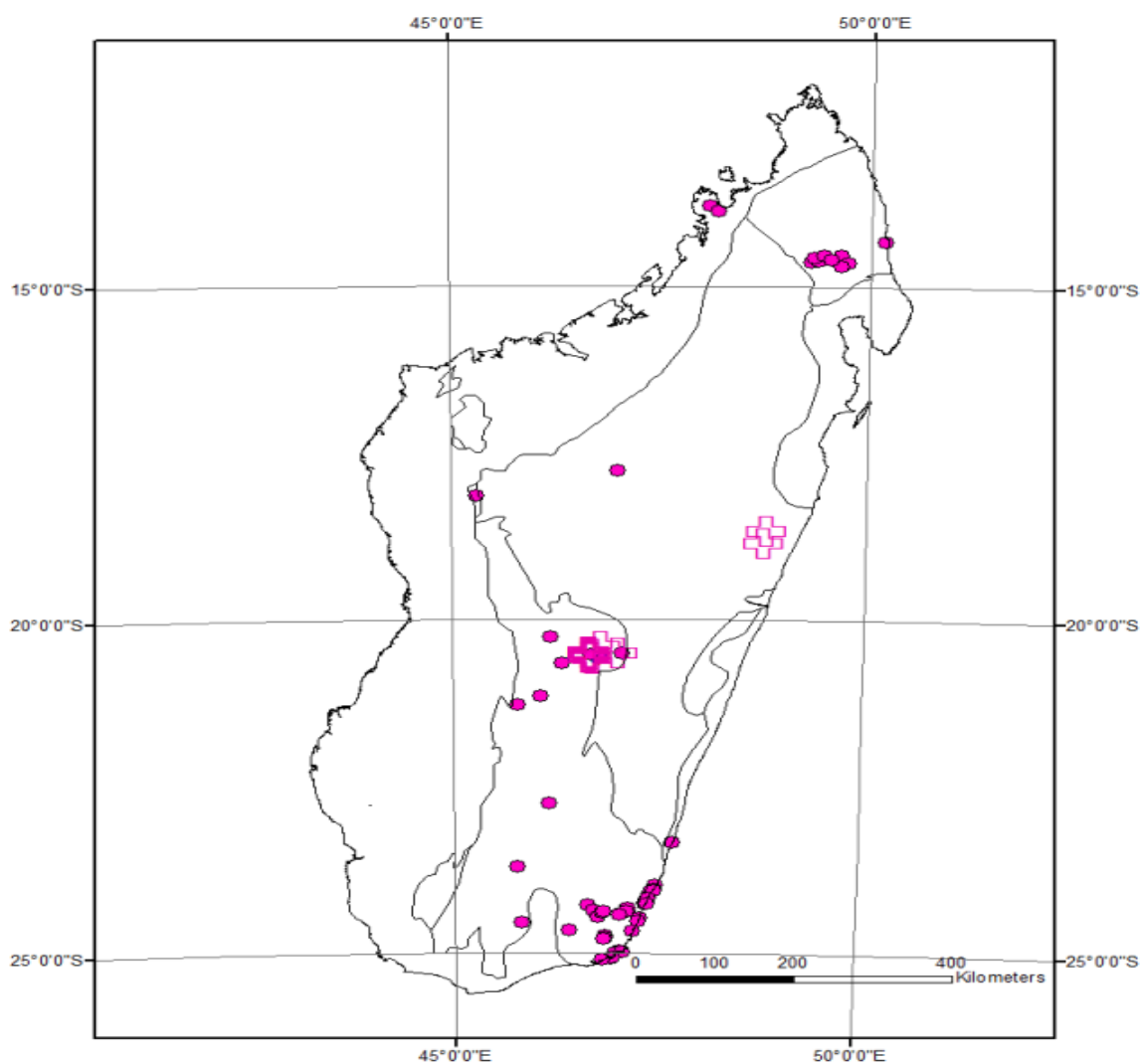


Figure 14: Carte n 9 des indices et gisements de terres rares (REE) de Madagascar

V. Les ressources carbonées

1. Le graphite

Le carbone a été découvert dès la préhistoire et était produit par la combustion incomplète des matières organiques produisant du charbon. C'est un élément chimique de la famille des cristallogènes : ambre, encre de Chine, carbure, graphite, noir animal, charbon actif, diamant, crayon, etc.

a. Propriétés physico-chimique et utilisation

Le graphite naturel est de couleur noire et d'éclat métallique, gras au toucher et tache les doigts. Il est le produit du métamorphisme de la matière carbonée dans les roches sédimentaires. On le trouve avec le quartz et la muscovite dans les schistes de métamorphisme régional et dans le marbre. Selon le degré de métamorphisme, il peut se présenter sous forme de paillette sous forme amorphe ou encore sous forme de veines.



Figure 15: Le graphite

Source : <https://www.futura-sciences.com/sciences/dossiers/chimie-mille-facettes-carbone-815/page/3/>

Le graphite est un minéral noir friable utilisé depuis des siècles pour l'écriture (encre de Chine, crayon à mine). Le graphite est formé par le carbone (C 6 parfois classé dans les métalloïdes et des fois dans les éléments non métaux).

(Métalloïdes : Corps simple qui a certaines propriétés des métaux et des propriétés opposées.)

Caractérisé par une dureté et une densité très faible, le graphite se clive en fines lamelles sous l'effet d'une légère pression. Bon conducteur de chaleur et d'électricité, le graphite est employé dans de nombreuses applications, notamment en métallurgie et pour la production de batteries.

Le graphite naturel est l'une des formes cristallines de l'élément carbone. Ses atomes sont organisés selon un empilement de feuillets de graphène dotés d'une structure hexagonale. Le graphite naturel se trouve dans les roches métamorphiques et magmatiques ainsi que dans les météorites. Il se transforme en diamant lorsqu'il est soumis à des pressions et à des températures élevées.

Le graphite synthétique s'obtient par un processus complexe de cuisson du coke de pétrole à très haute température. Sa teneur en carbone peut dépasser 99 %, et il est utilisé dans les produits manufacturés qui nécessitent un matériau d'une grande pureté. Pour faire des électrodes et des balais pour moteurs électriques.

b. Localisation à Madagasikara

Le graphite est un minerai de carbone. Il existe deux types de gisement de graphite à Madagascar : le gisement métamorphique et le gisement hydrothermal :

Les gisements de type métamorphique se trouvent dans la partie centrale et orientale de l'île. Le graphite apparaît sous forme de paillettes dans les roches métamorphiques comme les gneiss et les micaschistes du groupe d'Ambatolampy et du groupe de Manampotsy.

Le gisement de type hydrothermal se concentre essentiellement dans la partie Sud. Il est caractérisé par des veines de graphite dans les fractures des leptynites du groupe d'Ampanihy.

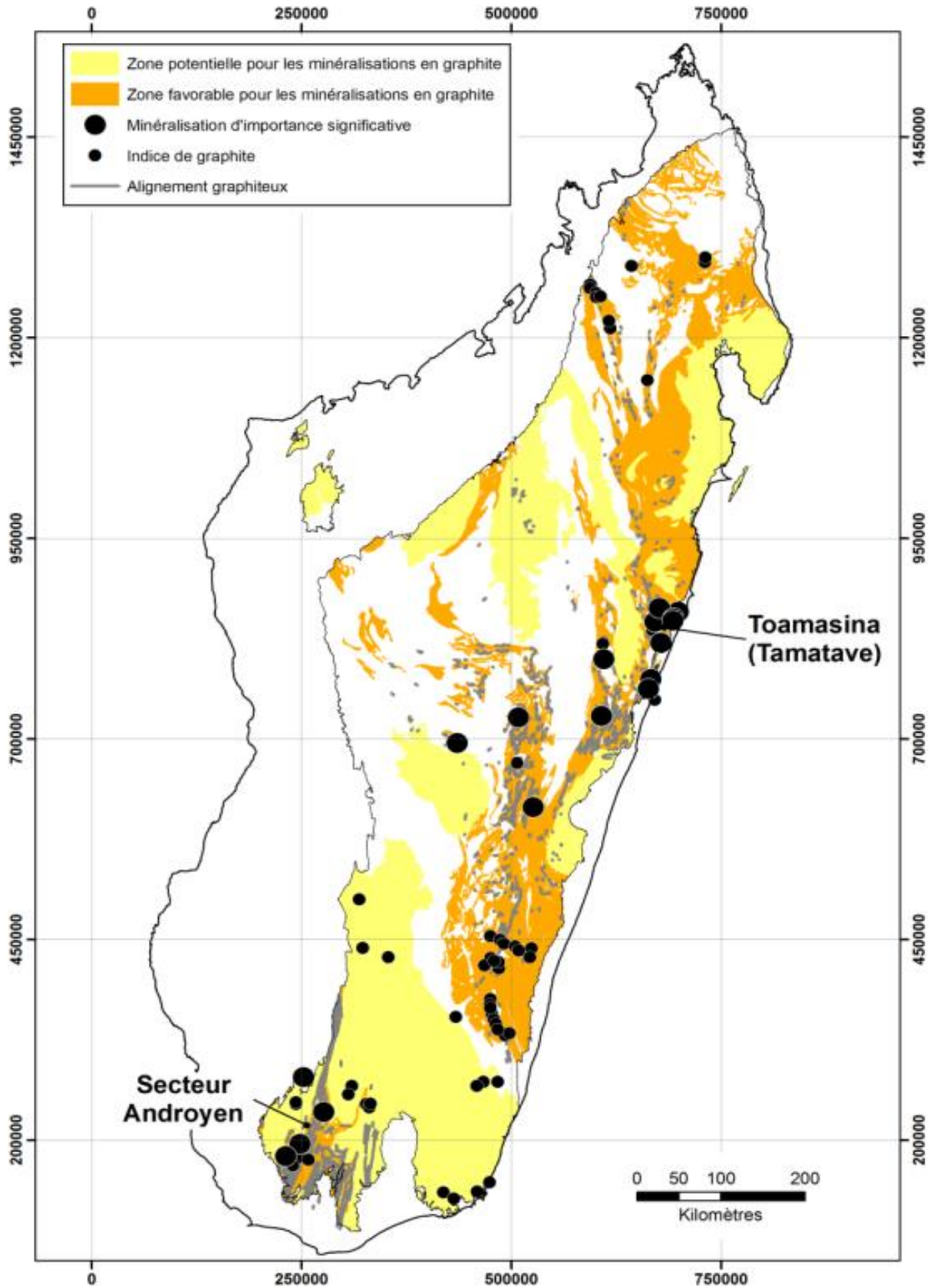


Figure 16: Carte n: 12: Cartes de distribution des ressources et potentiels en graphite de Madagascar

2. Le charbon

Le charbon aussi appelé « charbon de terre » pour différencier avec le « charbon de bois » est le résultat de la transformation de matières organiques végétales.

Les charbons sont des roches sédimentaires faites uniquement de débris végétaux ; leur opacité est telle qu'on ne peut les étudier au microscope polarisant ordinaire. Leur structure n'apparaît que sur des sections polies éclairées par réflexion. [1] La transformation des débris végétaux se fait partiellement sous l'action d'agents divers, à la fois physiques et chimiques. L'opération est basée sur deux étapes :

- étape biologique (décomposition bactérienne anaérobie) ;
- étape géologique (transformation par élévation de température suite à une accumulation de dépôts provoquant de fortes pressions).

Le charbon de terre est né il y a 250 millions d'années. Il était déjà connu à la fin de l'ère primaire. Des débris végétaux laissés par les forêts se sont peu à peu enfoncés dans les sous-sol. Puis de l'eau et de la terre ont recouvert le sol. Les débris végétaux ont pourri, durcis, noircis et se sont lentement transformés en charbon de terre. D'où la description schématique suivante :

1ère étape : Des quantités énormes de débris végétaux comme le bois, les écorces, les feuilles viennent de déposer dans les lagunes à proximité immédiate des forêts à végétation luxuriante.

2eme étape : La couche végétale ainsi constituée est recouverte par les eaux chargées de débris organiques. A la suite d'un affaissement du sol, les eaux viennent se décanter dans les dépressions.

3eme étape : Déposition du sédiment minéral alluvionnaire sur la couche végétale.

4eme étape : La fermentation de la bouillie végétale commence à l'abri de l'air. Au cours de cette fermentation, les sédiments végétaux s'enrichissent fortement en carbone et en hydrogène.

a. Propriétés physico-chimiques et utilisation

Il est composé d'hydrogène et de soufre, d'oxygène et surtout de carbone.



Le charbon se trouve sous différentes formes selon la teneur en carbone :

- La tourbe 50 à 55 %
- La lignite 55 à 75%
- La houille 75 à 90%
- L'antracite > 90%

La houille est un charbon fossile appelé charbon de terre, qui sert de combustible et qui a la propriété de brûler ; [2] C'est le résultat de la carbonisation lente, à l'abri de l'air des matériaux d'origine végétale charriés, puis déposés par les eaux courantes. Le charbon de terre renferme une proportion élevée de carbone [2] C'est une matière organique qui a subi des transformations d'état ou de forme chimique lors d'un stockage prolongé dans l'écorce terrestre, et qu'on utilise comme source d'énergie

Le charbon est employé comme **alimentation de chaudières** industrielles (non usage pour le chauffage domestique) et **la production d'électricité** au travers des centrales thermiques à flamme.

En sidérurgie (Métallurgie du fer, de la fonte, de l'acier et des alliages ferreux.), on emploie du charbon concentré en carbone quasi pur, le coke. Il est utilisé dans les hauts-fourneaux, des fours industriels où, mélangé à du minerai de fer, il donne de la fonte (alliage de fer et de carbone, précurseur de l'acier) par réduction des oxydes de fer.

Au milieu du XIX siècle, le déclin du charbon se fait sentir. Son extraction est difficile, ses rejets de particules sont trop importants et s'avèrent nocifs pour la santé et l'environnement. Il est remplacé par le pétrole puis le gaz. Actuellement, il est utilisé principalement pour la production d'électricité, dans les centrales thermiques, notamment en Chine.

b. Localisation à Madagasikara

Les couches à charbon sont constituées par des grès de Sakoa, souvent à stratification entrecroisée, renfermant plusieurs couches de houille. On y trouve les empreintes de Fougères : Gangamopteris et Glossopteris.

L'épaisseur moyenne de ces couches à charbon est de 100 à 150m ; on connaît 3 secteurs d'exploitation :

- Le 1er secteur : allongé sur 10km, renferme 5 couches de charbon se trouve à Sakoa ;
- Le 2ème secteur se trouve à Ianapera qui renferme aussi 5 couches.
- Le 3ème secteur à Imaloto au Nord de l'Onilahy qui est encore moins bien connu.

Le charbon, combustible utilisé pour la production d'électricité, est très présent dans la réserve de Sakoa, dans le Sud-ouest (65 millions de tonnes), d'après la société Madagascar Consolidated Mining, qui y a mené une recherche. (article en 2015)

3. Le pétrole

Le pétrole est un combustible fossile dont la formation date d'environ 20 à 350 millions d'années. Aussi appelé « huile » ou « pétrole brut »,

Le pétrole est un mélange d'hydrocarbures (molécules formées d'atomes de carbone et d'hydrogène) et de molécules contenant également d'autres atomes, principalement du soufre, de l'azote et de l'oxygène. Certains de ses constituants sont, à température et à pression ambiantes, gazeux (méthane, propane, etc.), liquides (hexane, heptane, octane, benzène, etc.) et parfois solides (paraffines, asphaltes, etc.). Le pétrole contient des milliers de molécules différentes qu'il va falloir fractionner et transformer chimiquement pour obtenir des produits utilisables.

a. La classification du pétrole

Un gisement de pétrole contient un mélange d'hydrocarbures qui le caractérise selon l'histoire géologique de la zone où il s'est développé.

La provenance géographique est donc un des critères de classification du pétrole (Golfe Persique, mer du Nord, Venezuela, Nigéria, etc.). Toutefois, pour établir des comparaisons entre différents sites, d'autres critères existent. Les plus importants sont les mesures de la viscosité et de la teneur en soufre du pétrole brut :

Selon la viscosité, quatre types de gisements sont définis (léger, moyen, lourd ou extra-lourd et bitume). Plus le pétrole brut est visqueux, plus il est « lourd » :

- **Les gisements de pétrole léger** : l'aspect du pétrole brut se rapproche de celui du gazole. Les gisements sahariens présentent cette caractéristique ;
- **Les gisements de pétrole moyen** : la viscosité du pétrole brut est intermédiaire entre le pétrole léger et le pétrole lourd. Il s'agit par exemple des gisements du Moyen-Orient ;
- **Les gisements de pétrole lourd ou extra-lourd** : le pétrole brut ne coule pratiquement pas à température ambiante. Les gisements d'Amérique du sud en sont un exemple ;
- **Les gisements de bitume** : le pétrole brut est très visqueux voire solide à température ambiante. Les principales réserves de ce type se trouvent au Canada.

b. Origine et exploitation

Il y a 20 à 350 millions d'années, le reste de certains organismes se déposent au fond de l'océans. Dans un milieu pauvre en oxygène, les matières organiques sont préservées et viennent se mêler à des matières minérales comme l'argile, les sables fins. La succession de dépôts de sédiments vont conduire à la formation des roches sédimentaires.

Sous le poids des différentes couches, cette roche s'enfonce de plus en plus dans la croûte terrestre. Plus elle descend, plus la température et la pression augmentent. L'azote et l'oxygène disparaissent progressivement/ la matière se transforme alors en Kérogène, une matière liquide composée d'eau, de dioxyde de carbone et d'hydrogène.

A une profondeur de 3800 et 5000m, sous l'effet de hautes températures, le kérogène devient plus léger et remonte à la surface ou se transforme en bitume (Mélange d'hydrocarbures utilisé comme revêtement des chaussées et des trottoirs). On parle de migration :

Migration primaire :

Le pétrole brut est initialement contenu dans la roche-mère, compacte et imperméable. Par un mécanisme encore mal élucidé (certainement lié à une augmentation de pression dans la roche-mère au cours de son enfouissement) l'eau, le pétrole et le gaz issus du kérogène peuvent être expulsés de leur formation d'origine, migrant alors éventuellement vers une future roche-réservoir.

Migration secondaire :

De faibles densités, le pétrole expulsé (mêlé à de l'eau et du gaz dissous) a tendance à remonter jusqu'à la surface de la Terre. Il s'échappe très lentement à travers les couches sédimentaires perméables qui jouxtent la roche-mère :

- En général, la migration secondaire du pétrole n'est pas arrêtée par un obstacle. Le pétrole finit par atteindre les premiers mètres du sol, où il est dégradé en bitumes sous l'action de bactéries. Les combustibles fossiles produits sont alors des pétroles dits « lourds » ou « extra-lourds » et des sables bitumineux. Ils peuvent être utilisés comme des indices de surface pour détecter un bassin sédimentaire susceptible de contenir du pétrole, lors de prospections réalisées par l'industrie pétrolière ;

- Parfois, la migration du pétrole brut vers la surface est empêchée par une formation géologique imperméable, comme une couche de sel par exemple, appelée « roche-couverture » (également qualifiée de « roche imperméable »). Une accumulation de pétrole associé à de l'eau et du gaz se forme dans la couche perméable sous-jacente créant ainsi une roche-réservoir en dessous de la roche-couverture. Dans ce réservoir poreux, le gaz s'accumule au-dessus du pétrole brut, lequel se retrouve au-dessus de l'eau

en raison des densités respectives de ces produits (le gaz naturel est plus léger que le pétrole, lui-même plus léger que l'eau).

c. Exploitation du pétrole

Le pétrole est une matière première facilement exploitable lorsqu'il se concentre dans un réservoir par des phénomènes de migration où l'on distingue trois matières le gaz, plus léger, remonte en premier, puis le pétrole et enfin l'eau. Ce sont ces réserves qui vont être soumis à des forages pour extraire le gaz et le pétrole.

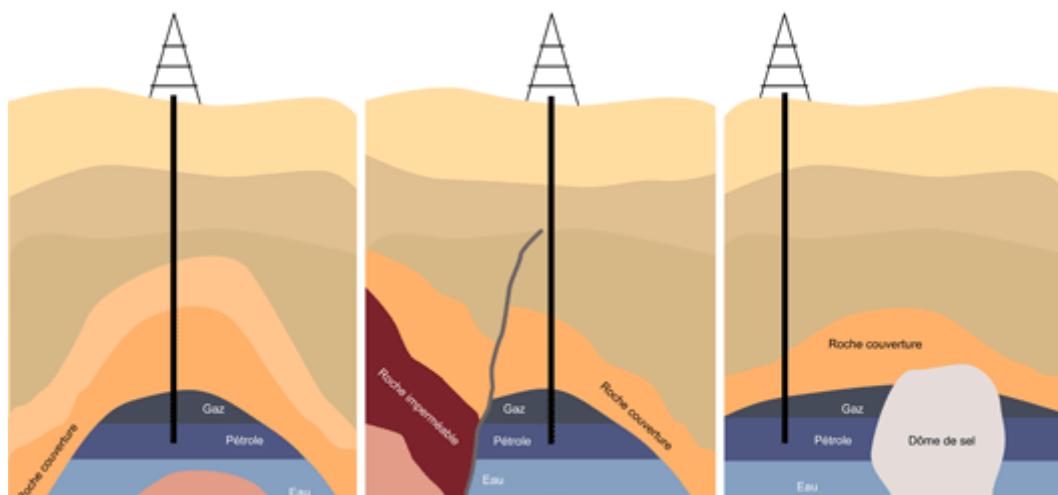


Figure 17: Exploitation de pétrole et de gaz

https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/styles/image_530_px_large/public/image_article/formati on_petrole.png?itok=THfrgDnm

Le gaz et le pétrole sont extraits grâce à des forages ou des puits. De grands tuyaux vont creuser le sol jusqu'à atteindre le réservoir. La pression naturelle est couplée aux machines pour éjecter le liquide ou le gaz convoité. Le plus compliqué est ensuite de déplacer ces ressources naturelles qui se trouvent généralement assez loin de leur lieu d'utilisation final. Le pétrole est acheminé par les canalisations appelées oléoduc et gazoduc pour les gaz.



Figure 18: Oléoduc

Source : <https://cdn.futura-sciences.com/sources/oleoduc-petrole-pipeline.jpg>

d. La localisation à Madagascar

Le bitume de Bemolanga se localise dans les grès de l'Isalo I. la Sakamena moyen présente aussi d'Indices de bitume et des gisements de pétrole en particulier dans la zone de Tsimiroro.

Le bitume est un mélange d'hydrocarbures de couleur brun à noirâtre, que l'on trouve à l'état naturel mais qui provient le plus souvent de la distillation du pétrole. La grande majorité (90 %) du bitume est utilisée comme liant dans des enrobés routiers (routes, parkings, trottoirs, etc). Incorporé à hauteur d'environ 5 %, le bitume permet l'adhérence des granulats à l'intérieur de l'enrobé, assure l'étanchéité du mélange et ses propriétés viscoélastiques.

Le bitume sert aussi à assurer l'étanchéité de toitures, de terrasses, de bassins ou de barrages. Le bitume est solide à température ambiante, mais se liquéfie entre 150 et 180 °C, pour devenir un liquide visqueux et élastique. Il a remplacé le goudron, issu de la cokéfaction de la houille mais aujourd'hui interdit en raison de sa toxicité.

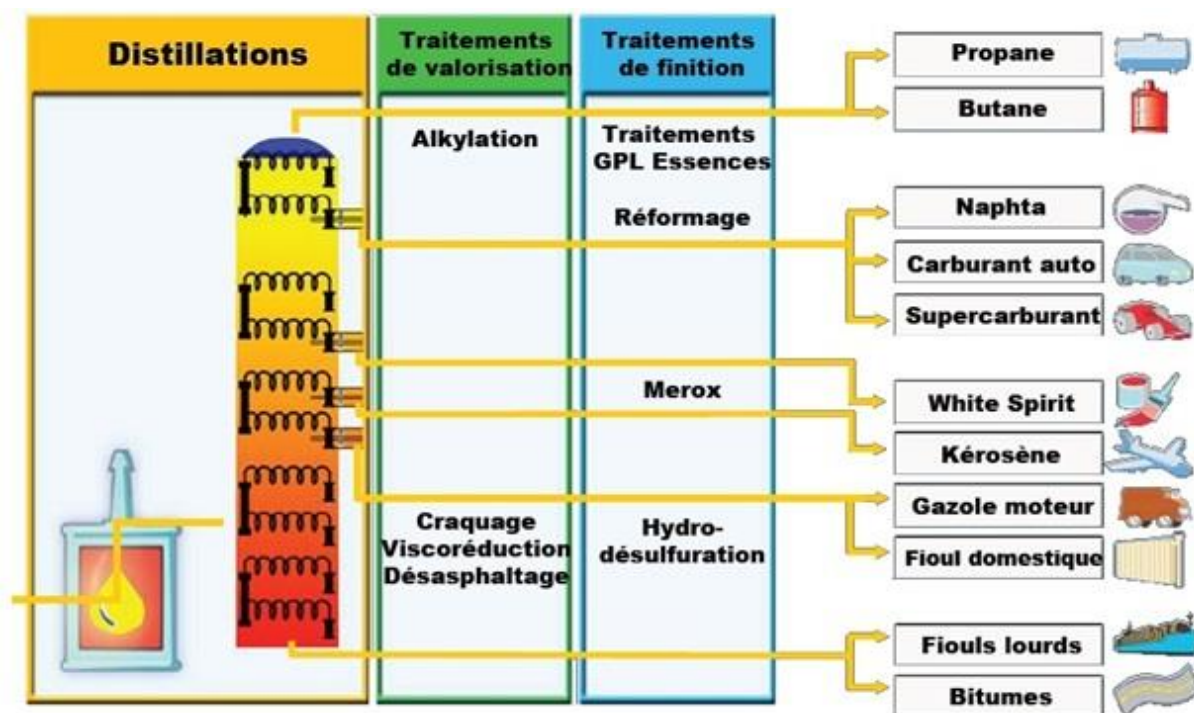
Remarque : le bitume est issu du pétrole différent du goudron qui est issu du charbon.

e. Utilisation

Le pétrole raffiné fournit une base indispensable à de nombreux produits : matières plastiques, solvants, cosmétiques, textiles, détergents, caoutchoucs, adhésifs, certains médicaments, bitume, engrais, pesticides, ...

En 2011, 59% de la production mondiale de pétrole servait exclusivement aux transports. Le fioul, un dérivé du pétrole, est largement consommées pour le chauffage, dans certaines centrales thermiques et comme carburant pour les bateaux et certaines machines agricoles.

Le gaz sert à la production électrique, au chauffage des maisons et bureaux, aux chaudières industrielles. Il intervient en tant que matière première pour la chimie et dans les transports sous forme GNL (Gaz Naturel Liquéfié).



https://sport-histoire.fr/Sources/Energies/Raffinage_du_petrole.jpg

VI. Ressources en minéraux radioactifs

Les matières radioactives naturelles sont souvent présentes à l'état naturel dans les roches ou le sable. Elles se trouvent aussi dans les résidus associés à la production d'hydrocarbure (ex. dépôts minéraux à l'intérieur de conduites, boues et équipement contaminé), dans la cendre du charbon (qui est brûlé pour produire de l'énergie) et sur des matériaux filtrants (p. ex. filtres usés des usines d'épuration de l'eau). On trouve aussi ces matières dans des produits de consommation comme les engrais au phosphate, les produits du tabac, les produits courants de construction (tel que la brique et blocs de ciment), les surfaces de travail en granit et les carreaux vernissés. Ainsi, certaines industries sont régulièrement en contact avec des matières radioactives naturelles. C'est notamment le cas des industries d'hydrocarbures, d'engrais au phosphate, de produits forestiers et d'électricité thermique. Il en est de même de celles qui assurent l'extraction et le traitement du minerai, le creusement et les travaux souterrains, le recyclage des métaux, la gestion des déchets, et le traitement des eaux.

Il existe dans la nature des minéraux radioactifs. Parmi ceux-ci, ceux qui présentent un danger pour la santé sont principalement des composés à base d'uranium (par exemple la pechblende, l'uranophase, la torbernite, l'autunite) et à base de thorium (par exemple la thorite, la thorianite, ...)

f. Propriétés physico-chimiques et utilisation de l'uranium et du thorium

La radioactivité est un phénomène naturel qui naît au cœur de l'atome. Dans le noyau instable d'un atome radioactif, il existe ainsi un surplus d'énergie qui conduit à une désintégration de l'atome en un autre atome.

Si un noyau d'atome contient trop de neutrons et de protons, il est instable. Pour retrouver sa stabilité, il éjecte des neutrons et des protons. Il émet alors des particules, c'est-à-dire de l'énergie, et des rayons, c'est ce qu'on appelle la radioactivité.

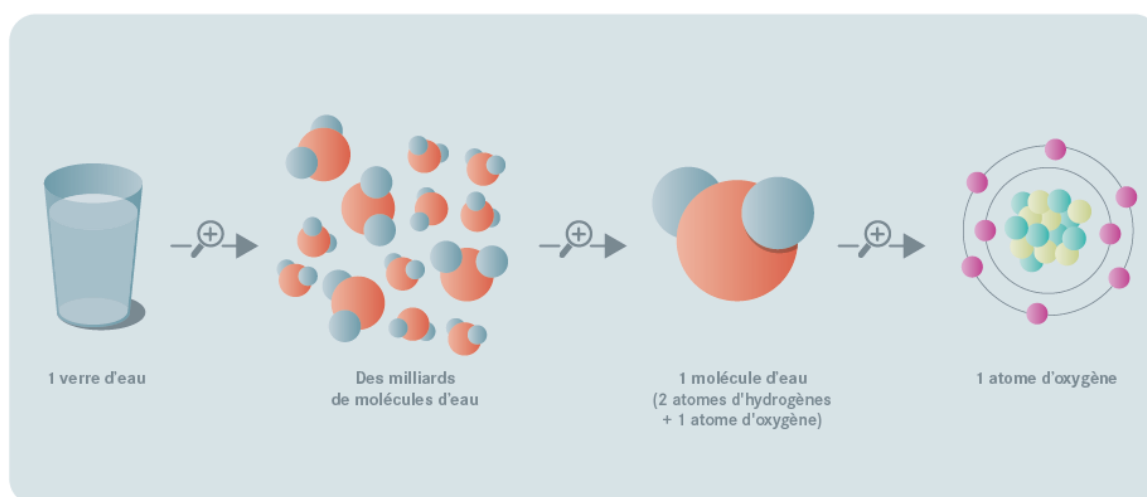


Figure 19: Schéma d'un verre d'eau à un atome d'oxygène

Source : <https://www.andra.fr/sites/default/files/inline-images/Visuel%20du%20verre%20d%27eau%20.png>

Pour plus d'informztion :

<https://www.andra.fr/les-dechets-radioactifs/la-radioactivite/explication-du-phenomene#:~:text=Les%20atomes%20radioactifs%20%3A%20une%20%C3%A9nergie,atome%20en%20un%20autre%20atome.>

g. Uranium

L'uranium est un métal lourd que l'on trouve sur Terre à l'état naturel, dans la croûte terrestre, et même dans l'eau de mer. Présent dans différents types de minerai, l'uranium est environ 1 000 fois plus abondant que l'or.

L'uranium est un élément chimique de symbole U et qui porte le numéro atomique 92. L'uranium naturel est constitué de trois isotopes : l'uranium 238, le plus lourd et le plus abondant, l'uranium 235 et l'uranium 234.

L'uranium 235 est le seul isotope fissile. Cela veut dire qu'il peut se fragmenter sous l'effet d'un neutron. Explication : sous l'effet de la collision

avec le neutron, son noyau se casse, c'est ce que l'on appelle la fission. Celle-ci produit des rayonnements* et une énorme quantité de chaleur. Le noyau le plus facile à casser est celui de l'atome d'uranium. Dans les centrales nucléaires, on utilise la chaleur produite par la fission nucléaire pour produire de l'électricité.

Production d'énergie par rapport au charbon

<https://www.orano.group/fr/decodage/tout-savoir-sur-l-uranium#:~:text=L'uranium%20est%20un%20%C3%A9l%C3%A9ment,est%20le%20seul%20isotope%20fissile>

h. Localisation de l'uranium et du thorium

Les minéralisations à éléments radioactifs de Madagascar, principalement l'uranium (U) et le thorium (Th), sont localisées dans les secteurs d'Ankazobe-Vohimbohitra, d'Antsirabe et d'Anosy-Tranomaro. Les minéraux d'uranium se trouvent dans les pegmatites à bétafite-euxénite au centre de Madagascar. Le thorium sous forme d'uranothorianite a été décrite à Madagascar comme un minéral rare dans des pegmatites et des pyroxénites de la région de de Betroka et de Tranomaro du sous-domaine Anosyen.

Le sol malgache abrite, en outre, de grandes quantités d'uranium, utilisé dans le fonctionnement de réacteurs nucléaires afin de produire de l'électricité. La société Pam Atomique Madagascar (PAM) s'est lancée dans la prospection sur 4 sites dans le sud (Folakary, Makay, Faratsiho et Tranomora).

Depuis 2005, de nombreuses sociétés se sont lancées dans la prospection de l'uranium, notamment, la société Atomique Madagascar (PAM) qui a assuré la prospection dans 4 sites dans le sud (Folakary, Makay, Faratsiho et Tranomora). et a détecté la présence d'uranium de haute qualité dans le gisement de Tranomora, au Nord-Ouest de Fort Dauphin avec une concentration moyenne de 4,329gr/t.

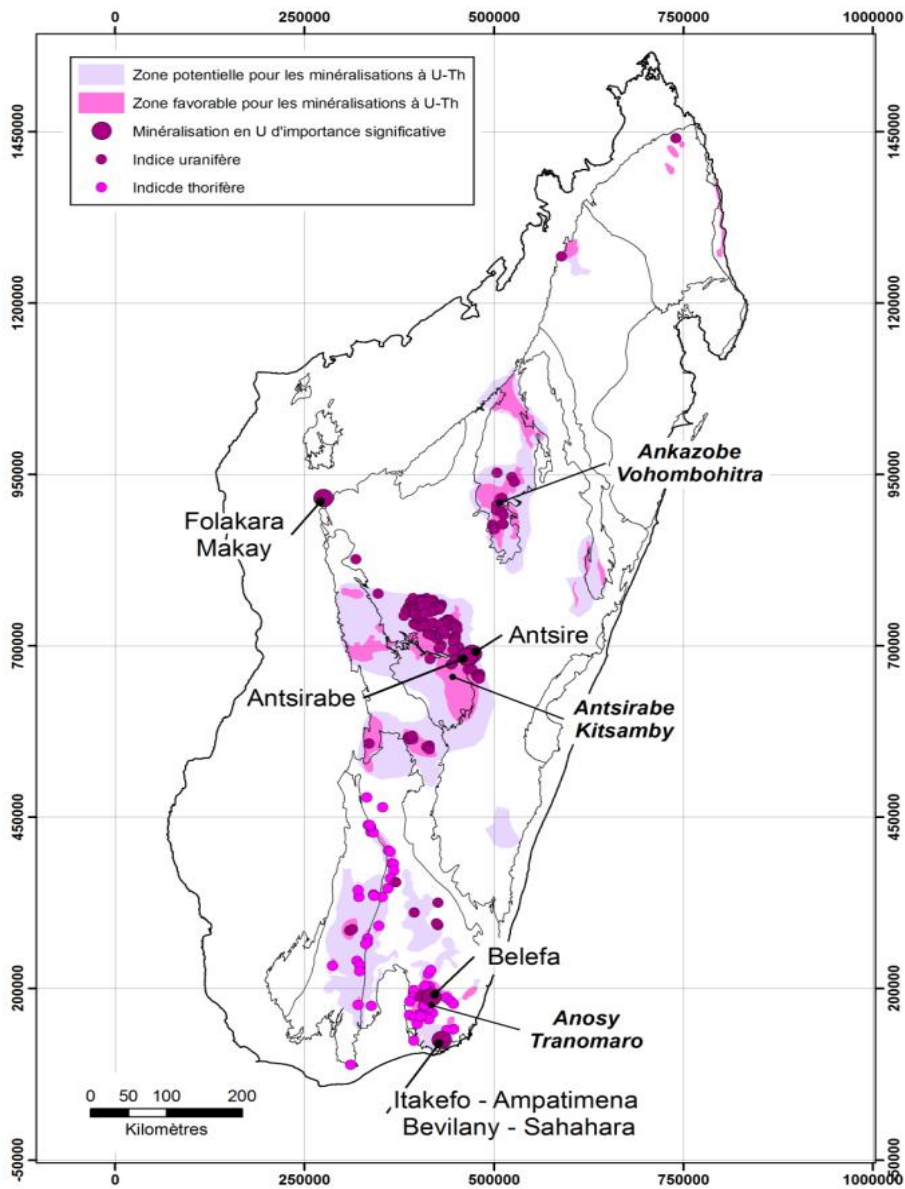


Figure 20: Carte n 10 de distribution du potentiel en éléments radioactifs de Madagascar

VII. Les ressources en fossiles

Un fossile est une trace de vie préservée dans des roches sédimentaires qui se sont formées avant la période géologique actuelle. Il peut s'agir de coquilles, d'excréments, de galeries, de morceaux de bois, d'os, de pollens, de traces de pas, etc.

Ces traces de vie peuvent tout aussi bien être animales que végétales. Elles sont étudiées par des paléontologues ou des géologues.

Le paléontologue étudie l'évolution biologique des êtres vivants, en étudiant les fossiles des êtres vivants du passé, enfouis dans les sédiments géologiques. Le géologue explore la terre que ce soit en surface ou en profondeur, il prélève des échantillons sur le terrain et analyses en laboratoire.

En général, les plantes et les animaux, nous y compris, meurent, pourrissent et disparaissent sans laisser de traces. Cependant, si certaines conditions sont réunies, les organismes peuvent rester relativement bien conservés presque éternellement ! Il n'y a qu'à voir les fossiles de dinosaures âgés d'environ 230 millions d'années, ou mieux encore, les bactéries fossiles dont l'âge se compte en milliards d'années.

4. Origine : fossilisation

Il existe plusieurs types de fossiles, certains plus rares que d'autres. On appelle également fossiles les organismes congelés dans la glace et emprisonnés dans le goudron, la résine ou l'ambre. Dans ces cas, les spécimens sont conservés presque entiers. Citons pour l'exemple les mammouths retrouvés en très bon état dans le pergélisol sibérien ou les malheureux insectes englués depuis le Pléistocène dans les puits de goudron

de La Brea Tar Pits, dans l'actuel Los Angeles. Mais les fossiles les plus courants se forment dans les sédiments.

Les fossiles se forment par minéralisation. Au cours du temps, les tissus de l'organisme mort sont progressivement remplacés par des minéraux. La fossilisation est un processus très long. Généralement, lorsqu'un organisme meurt, son corps est rapidement décomposé. Toutefois, il arrive que les restes d'un organisme soient placés dans des conditions favorisant leur conservation. On dit alors que les restes se fossilisent.

Dans de plus rares cas, de la matière organique peut être conservée, notamment quand le cadavre est conservé dans le froid par exemple au sein du pergélisol : sol à température inférieure ou égale à 0 dans les régions froides.

En général, pour former un fossile, il faut que des sédiments - de la boue ou du sable - recouvrent assez rapidement la dépouille de l'organisme. Les tissus mous se décomposent très vite, donc il ne reste plus que le squelette (ou encore la coquille). Au fil du temps, les sédiments continuent à se déposer au-dessus du squelette. Celui-ci finit enterré sous des couches épaisses où la pression devient si forte qu'elle transforme les sédiments en roche dure.

À présent, le squelette est à la merci des eaux souterraines, chargées de minéraux, qui s'infiltrant dans la roche. Plusieurs cas de figure peuvent alors se présenter : soit les minéraux cristallisent à l'intérieur des os et les transforment en fossiles ; soit les os se font complètement dissoudre et la forme du squelette reste imprimée dans la roche. Les minéraux peuvent éventuellement combler l'espace laissé par les os dissous, comme s'ils remplissaient un moule. Une fois formés, les fossiles attendent d'être découverts, ce qui arrive si les strates sédimentaires remontent à la surface, suite à des bouleversements géologiques.

5. Localisation de fossiles à Madagascar

Les formations sédimentaires malagasy renferment des divers fossiles. Mais les gisements des fossiles très célèbres au monde sont :

Le groupe de Sakamena inférieur contenant des fossiles végétaux (Glossopteris, Voltzia, Thinnfeldia, Lepidopteris), des animaux comme les amphibiens stégocéphale (Rhinesuchus), Reptiles terrestres et des lézards primitifs (Tangasaurus, Hovasaurus et des Protosauriens)

Le groupe de Sakamena moyen présente des nodules de poissons associés à des Ammonites.

Le Bois silicifiés dans le bassin de Morondava et de Majunga.

La formation crétacée de la région de Berivotra (Mahajanga) rend célèbre par richesse en fossiles de dinosaures et des oursins.

Le quaternaire est riche en fossiles d'Hippopotames, de grandes Tortues, de grands Lémuriens avec aussi un oiseau géant (Aepyornis).



Figure 21: Des ammonites en vente

Source : <https://coeurdepierres.fr/categorie-produit/fossiles/ammonites/>



Figure 22: Parc Botanique et Zoologique à Tsimbazaza

Source : <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS3I7chdvAvUqC1LWBOqclNCdozQUVukdSNjm0HWupp60lGc8UbOwWP8smH4A2ZyEnOUA&usqp=CAU>

Ces bois fossiles sont constitués principalement de cèdres, conifères et résineux. L'âge en est de 22-0 millions d'années, et géologiquement, nous pouvons les classer dans l'ère secondaire au TRIAS moyen et supérieur. Ce TRIAS se compose de trois phases sédimentaires (d'où son nom).

<https://www.gemmology.be/articles-archive/2015/8/24/note-sur-les-bois-fossiles-de-madagascar>

6. Les bois silicifiés à Madagascar

« Bois silicifiés » ou « hazo vato » pour les Malagasy, Morondava et le massif de MAKAY en présentent d'énormes troncs. Toutefois, ils sont beaucoup plus concentrés dans la partie ouest de la capitale de Madagascar, à environ 350 km d'Antananarivo. La longueur de certains troncs des bois silicifiés de Madagascar atteignent 20 mètres pour un diamètre de 1m ou plus. Son ensemble est appelé « forêt pétrifiée », qu'ils soient encore des arbres plantés ou déjà coupés.

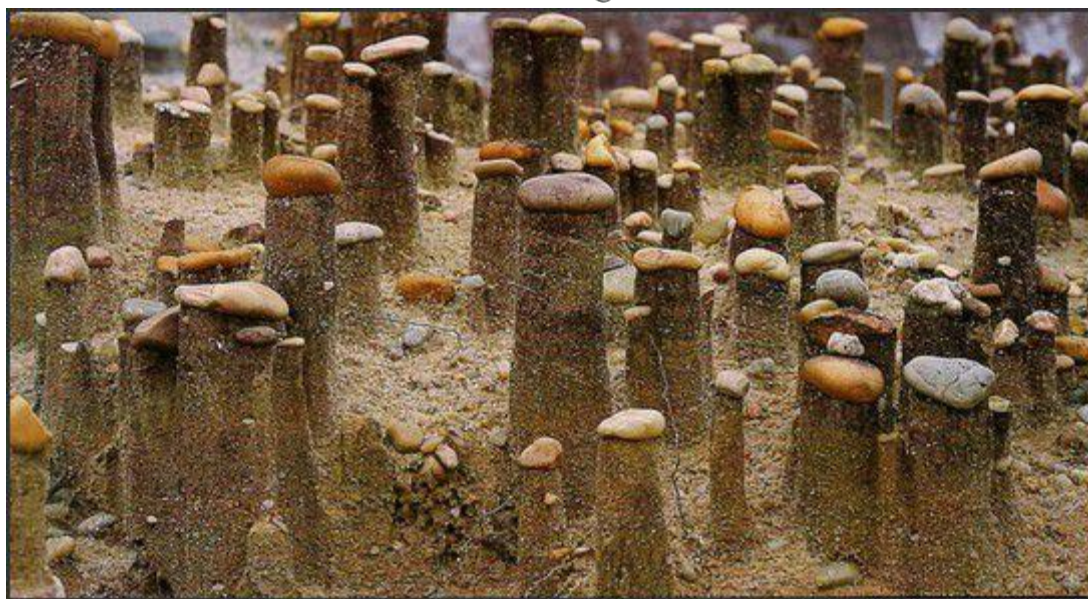


Figure 23: Bois silicifiés

<https://agir-avec-madagascar.over-blog.com/2017/10/les-bois-silicifies-de-madagascar-ou-hazo-vato.html>

Le bois se transforme en pierre grâce au phénomène d'épigénisation. Cela consiste aussi à remplacer le carbone du bois par du calcaire ou de la silice. Cette transformation se fait progressivement pendant des centaines de milliers d'années. La solution présente durant l'épigénisation définit la couleur du bois. La couleur verte est due à la présence du cuivre et du nickel, le rouge grâce à l'existence du fer. Il est à noter qu'un même arbre peut produire différentes couleurs, d'après l'originalité de sa naissance.

Les climats de Madagascar varient selon les régions, ce qui différencie les conditions naturelles de formation des forêts. Ainsi, selon la région, il existe 2 types de bois : les bois carbonatés et les bois silicifiés.



VIII. Les ressources en minéraux gemmes

Les gemmes sont rares, belles, dures et utilisées en joaillerie.

Les quatre gemmes : le diamant, le saphir, le rubis et l'émeraude sont appelés des pierres précieuses. Ce sont des pierres brillantes, dures, belles et de ce fait les plus chères.

Mais on distingue également **les pierres fines** qui sont transparentes comme les citrines, améthystes, topaze, opales, grenats, tourmalines, quartz...

Et **les gemmes opaques** comme lapis-lazuli, malachite, turquoise, jade, jaspe, ... sont des pierres d'ornementation ou pierre dure.

Enfin, il y a également les gemmes d'origines animales tels que les perles, le corail, l'ivoire et les gemmes d'origines végétales comme l'ambre.

Les minéraux gemmes à Madagascar : saphir, rubis, émeraude, tourmaline.

1. Le saphir de Madagascar

Le mot « saphir » vient du latin sapphirus, lui-même dérivé du grec sappheiros, signifiant « bleu ». Par ailleurs, certains auteurs défendent l'hypothèse qu'à l'origine du mot il y aurait le terme hébreu sappir (« pierre noble »). Vers 1800, on a montré que le rubis et le saphir n'étaient que des variétés d'un même minéral, le corindon. Actuellement, le saphir correspond à tous les corindons bleus de qualité gemme. Les couleurs autres que le bleu étant précisées par une épithète : saphir vert, saphir jaune...

Le saphir se forme dans les roches magmatiques ou dans les zones entre les pegmatites et les roches adjacentes ou dans des roches métamorphiques comme le gneiss et les micaschistes. On peut trouver dans les alluvions des saphirs ayant résisté à l'érosion des roches où ils étaient présents.

On trouve des gisements de saphirs bleus dans de nombreux pays. Ainsi, cela est souvent méconnu, mais les États-Unis et le Canada possèdent notamment quelques gisements où l'on trouve le corindon bleu. Cependant, à l'état natif, cette pierre est majoritairement présente dans les zones tropicales humides. On la trouve surtout à Madagascar (gisement d'Ilakaka), au Sri Lanka et en Birmanie, mais également en Chine, en Inde, au Brésil, en Thaïlande et en Afrique.

<https://www.pierres-precieuses-madagascar.com/encyclopedie-pierres-precieuses/saphir/>



Figure 24: Des variétés de saphir

Source : <http://frediani-bijoux.blogspot.com/2014/04/madagascar-ilakaka-une-mine-de-saphirs.html>

a. Propriétés physico-chimiques

Le saphir

Formule chimique : Al_2O_3 oxyde d'aluminium

Couleur : bleu, jaune, rose, vert, blanc orange et multicolore

Système cristallin : trigonal

Échelle de Mohs : 9

Éclat : vitreux

Le saphir, comme le rubis, est une variété de corindon. Ce minéral est un oxyde d'aluminium de composition chimique Al_2O_3 . Le saphir peut se présenter sous de nombreuses couleurs selon les éléments colorants qu'il contient : fer et titane pour les pierres bleues, fer pour les jaunes et les vertes, vanadium pour les violettes, chrome pour le rose. Le corindon produit des pierres gemmes allochromatiques « colorées par des substances étrangères

»; ses très nombreuses couleurs sont dues à des éléments tels que le chrome, le fer et le titane, qui y sont présents à l'état de traces. Son système cristallin est trigonal et sa dureté est très élevée : 9 sur l'échelle de Mohs. Le saphir incolore étant appelé leucosaphir et celui qui est orangé « padparadscha » voulant dire en singhalais « fleur de lotus » dont la couleur est proche.

<https://www.pierres-precieuses-madagascar.com/encyclopedie-pierres-precieuses/saphir/>

b. les différents types de saphir

Les saphirs bleus sont transparents et présentent des teintes bleues, bleu-violet, bleu-vert, ou une combinaison de celles-ci. Ils sont pléochroïques (ils présentent différentes couleurs selon l'angle d'observation). C'est sous la lumière naturelle ou sous la lumière fluorescente que les saphirs bleus resplendissent de leurs plus belles nuances.

Le saphir bleu est le plus connu. Bleu clair, bleu gris, bleu foncé, toutes les nuances sont possibles. Le Bleu royal et le Bleu cornflower ont une teinte profonde et sont très prisés.

Le saphir rose va du pastel au rose vif, et ceux qui ont le plus de valeur sont ceux qui tirent le moins vers le violet.

Le saphir jaune n'est pas le plus recherché car il est souvent moins brillant et clair que les autres.

Les saphirs verts ne sont pas non plus très appréciés, leur couleur étant moins jolie que celle d'autres gemmes vertes.

Les saphirs sont en général plus purs et plus gros que les rubis. Le standard habituel est « pur à l'œil ». Des inclusions microscopiques (on parle alors d'aspect « laiteux » ou « soyeux ») peuvent conférer à certains saphirs bleus une apparence « veloutée » ou « somnolente », ce qui augmente encore la beauté et la valeur de ces pierres.

Madagascar est une terre de saphir, 40% de la production mondiale en proviendrait. Souvent clandestine, l'activité est mal encadrée dans l'île. Elle attire des milliers de personnes prêtes à tout pour dénicher cette pierre si précieuse.

<https://www.tf1info.fr/voyages/video-document-la-ruee-vers-le-saphir-a-madagascar-2200582.html>

c. Gisement de saphir et de rubis

Les gisements primaires de saphir et rubis se trouvent dans le sud de Madagascar (Ihosy, Batroka, Andranondambo, Tranomaro, Bekily), dans la partie centrale (Antsirabe, Faratsiho, Antanifotsy, Fandriana), dans la partie Est (Beforona, vatomandry, Andilamena) et dans la partie nord (Ambondromifehy).

Les gisements secondaires sont ceux d'Ilakaka.

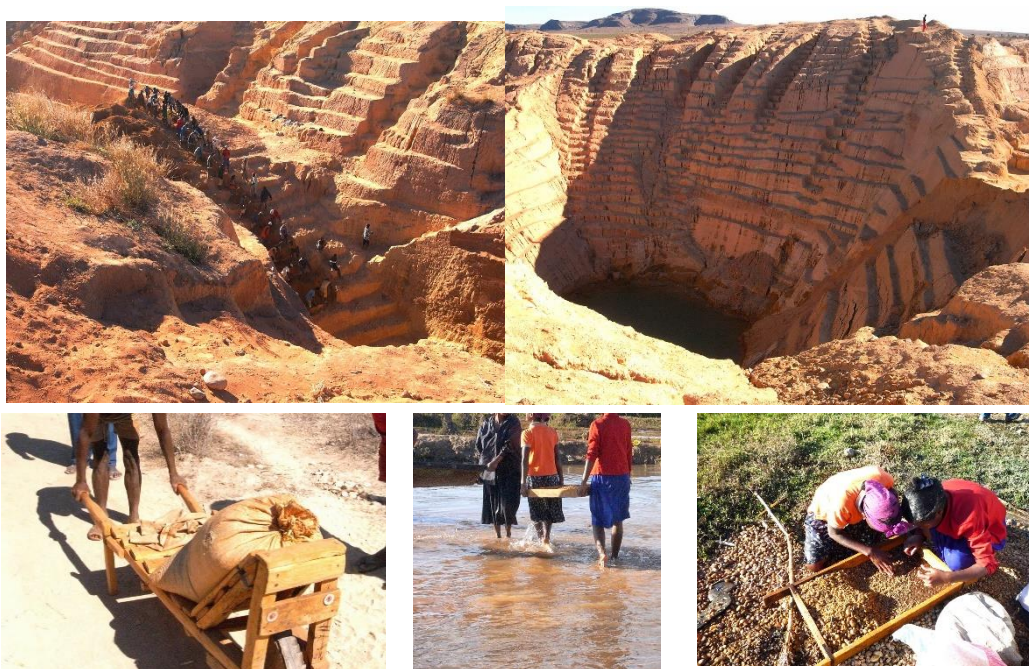


Figure 25: Exploitation de saphir à Ilakaka

Source : <http://frediani-bijoux.blogspot.com/2014/04/madagascar-ilakaka-une-mine-de-saphirs.html>

2. L'émeraude de Madagasikara

L'émeraude appartient au groupe des Silicates, et c'est une variété de Béryl. Les minéraux qui lui donnent sa couleur sont le Vanadium, le Chrome ou le Fer. Son éclat est vitreux, sa cassure conchoïdale est son système cristallin hexagonal. Elle a une dureté de 7,5 à 8 sur l'échelle de Mohs, une densité de 2,7 à 2,9. Son pléochroïsme est net, vert-bleu à vert-jaune, et sa luminescence est nulle.

Madagascar est plus connue pour la qualité de ses saphirs et de ses rubis, que pour celle de ses émeraudes. Bien que l'on trouve là-bas des émeraudes de belle pureté, leur couleur est assez éloignée de l'idée que l'on se fait d'une émeraude. En effet, leur vert est proche de celui d'une tourmaline.

Et bien qu'elles soient souvent très cristallines, elles sont de ce fait moins présentes sur le marché de la joaillerie. Les mines d'émeraude de Madagascar se situent près de Kianjavato à l'est de l'île.

On y trouve de temps à autre des pierres dont la couleur se rapproche de celles produites en Zambie. Ces émeraudes restent cependant très rares.



Figure 26: L'émeraude

Source : <https://gemmantia.com/fr/émeraude/émeraude-de-madagascar#:~:text=Madagascar%20est%20plus%20connue%20pour%20la%20qualit%C3%A9%20de.leur%20vert%20est%20proche%20de%20celui%20d%27une%20tourmaline.>

a. Les variétés du Béryl

On retrouve 6 grandes variétés de Béryl : l'Aigue-marine de couleur vert pâle jusqu'à bleu, le Bixbite d'un rouge intense (pierre très rare), l'Émeraude de coloris vert, l'Héliodore décrivant une palette de couleurs allant du jaune pâle jusqu'au jaune-orangé, la Morganite rose pâle à rose saumon et enfin la Goshénite, quant à elle incolore.



Figure 27: Les variétés de Béryl

b. Gisement d'émeraude

Les gisements d'émeraude se localisent dans la région de Mananjary et d'Ianapera. Les Émeraudes de la région de Morafeno et Ambodibakoly se trouvent dans le groupe géologique dit de l'Ampasary. (Une série silico-alumineuse et calco-magnésienne) à noter l'abondance des gneiss et des micaschistes.

La première découverte recensée fut réalisée en 1911 par le géologue Levat. Les gisements ont fourni des pierres de qualité depuis 1975 jusqu'en 1993.

http://www.gggems.com/emeraude_de_madagascar.htm

Les émeraudes sont des gemmes très rares car leur formation a nécessité des conditions géologiques très particulières, de plusieurs natures et à des époques fort éloignées les unes des autres. Les gisements d'émeraudes d'Égypte sont épuisés, et depuis le 16ème siècle, c'est l'émeraude de Colombie qui alimente le marché mondial. La Colombie est la plus importante productrice mondiale avec 60 % de la production mondiale

: mines de Chivor, Muzo, Peñas Blancas et de Coscuez appelées le triangle d'or. Il existe des gisements d'émeraudes dans d'autres pays : Afghanistan, Brésil, Pakistan, Russie, Zimbabwe et Madagascar.



Figure 28: Cristal d'émeraude dans sa roche mère, une pegmatite

Les gisements de béryl et de tourmaline se forment dans les pegmatites d'Ibity et d'Ankazobe.

3. La tourmaline

La tourmaline, la pierre aux mille couleurs, elle a un fort pléochroïsme. Elle désigne un groupe de minéraux appartenant aux Silicates, plus exactement aux cyclosilicates, de composition, complexe et très variable. La formule peut être présentée ainsi : $(Ca, Na) (Al, Fe, Li, Mg)_3 B_3 Al_3 (Al_3, Si_6, O_{27})$.

Les tourmalines peuvent être transparentes, translucides, voire opaques. Leur éclat est vitreux et leur cassure est inégale, conchoïdale. Leur système cristallin est rhomboédrique ; on les trouve sous forme de cristaux prismatiques à six côtés, d'agrégats grenus, compacts, fibreux et rayonnants, comme les « soleils de tourmaline » caractéristiques.

De dureté 7 -7.5

Densité 3.02 à 3.26

Composition chimique : Borosilicate d'alumine avec fluor

Gisement dans les roches magmatiques acides et les pegmatites associées, les calcaires et les schistes, les placers.



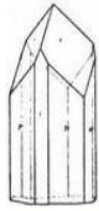
Figure 29: Mine d'Alakamisy Itenina (région de Fianarantsoa)

Cette mine est exploitée en alluvion, les premières pierres furent découvertes en 1989 dans une rizière. Elle produit des rubellites et de remarquables tourmalines avec des dessins géométriques.

Les types de tourmalines : hexagonal et triangulaire.



Type très rare de tourmaline : tête blanche et corps rouge.



5

Cristal de type hexagonal terminé en pointe fréquemment trouvé à Tsilaisina.



6

Tourmaline polychrome se trouvant à Tsilaisina, Madagascar.



Tourmaline Liddicoatite de Anjanaboina.



Tourmaline rose foncé type Antsongombato.



Tourmaline bleu-vert.
(Vallée du Kunar, Afghanistan.)



Indigolite
(Vallée du Kunar, Afghanistan.)



Rubellite type Antsongombato.
(Madagascar)



Tourmalines Chromifères de Tsaniria (Madagascar)



Indigolite de Anjamiary.
(Madagascar)



Macle de Verdellite Estaknala (Pakistan)

Figure 30: Les différentes couleurs de tourmaline

Source : http://www.gggems.com/caracteristiques_des_tourmalines.htm

4. Localisation des gemmes à Madagascar

Madagascar est connu depuis longtemps pour ses pierres précieuses dans les gisements de pegmatites, comme le célèbre champ de pegmatites sodolithiques de la Sahatany, près d'Antsirabe avec tourmaline, béryl, topaze, orthose jaune, etc.

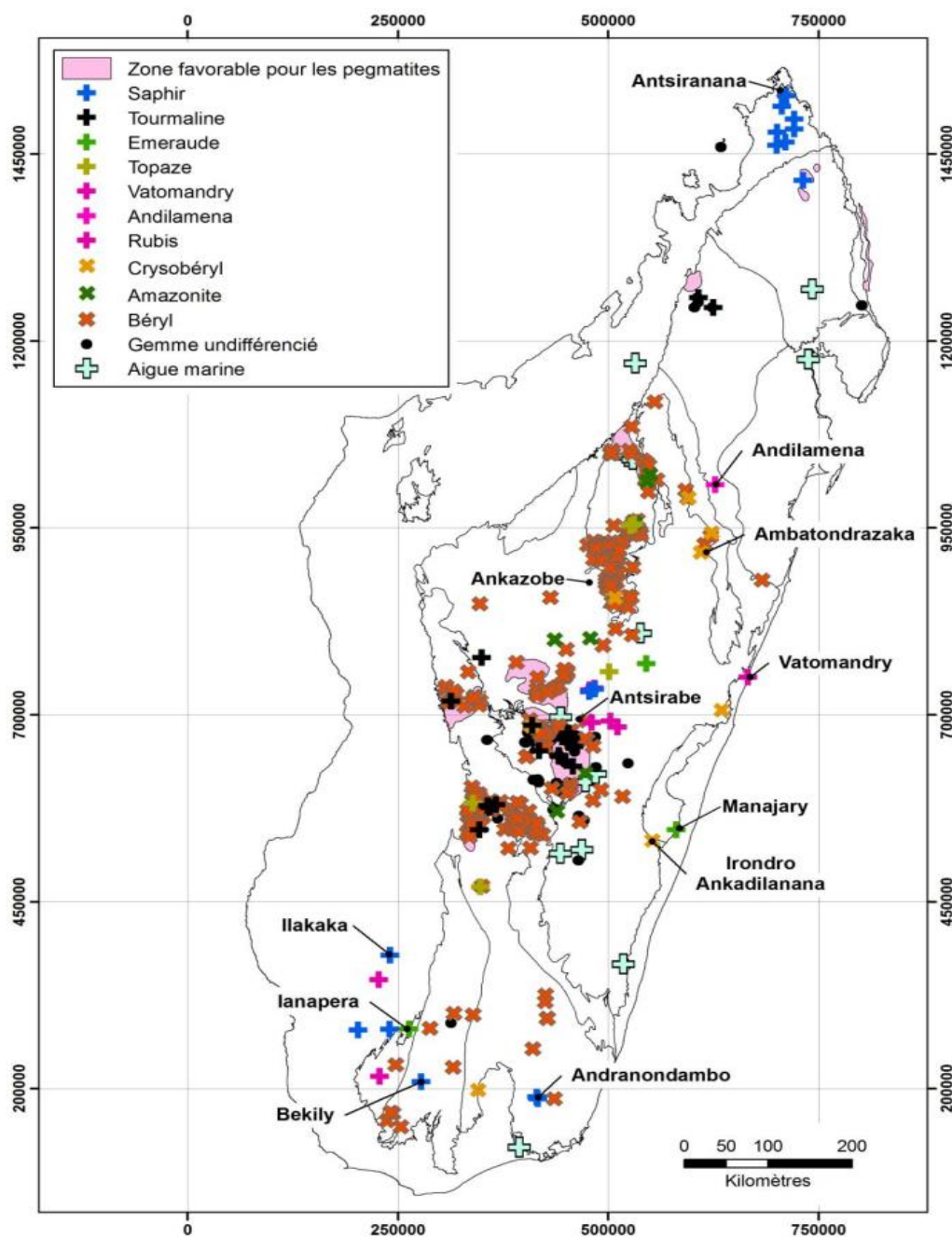


Figure 31: Carte n: 11: Carte de répartition des pierres précieuses et semi-précieuses de Madagascar

IX. Géo tourisme

Le géotourisme désigne une forme de tourisme de nature exploitant les particularités géologiques des sites visités. Les sites sont souvent perçus comme relevant d'une nature sauvage, même s'ils sont en réalité le plus souvent habités, voire investis d'une symbolique religieuse ou culturelle forte pour les populations locales.



Figure 32: La reine de l'Isalo

Le géotourisme contribue à une intégration des populations locales dans la protection de l'environnement, dans une logique conservacionniste de développement durable.



Figure 33: Piscine naturelle de l'Isalo

Source : <https://www.alltrails.com/fr/randonnee/madagascar/ihorombe/piscines-de-l-isalo>

Les grès de l'Isalo I constituent le massif ruiniforme de l'Isalo entre l'Onilahy et le Mangoky (traversé par la route de Tuléar, à l'Ouest de Ranohira) qui constituent les sites touristiques très célèbres au monde, ainsi que les plateaux calcaires de Bemaraha, de Kelifely-Ankara au Nord, les régions volcaniques d'Itasy et d'Antsirabe.

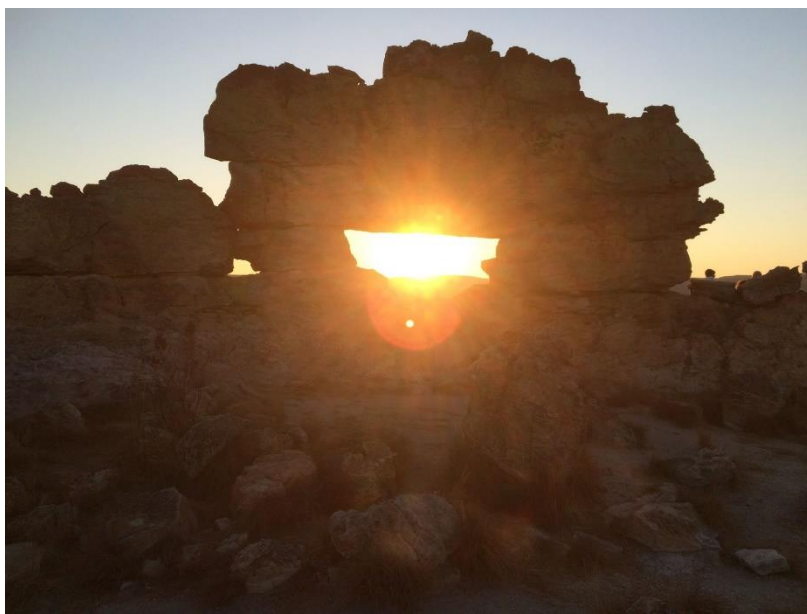


Figure 34: La fenêtre de l'Isalo

Références :

1. <https://www.le-comptoir-geologique.com/paragenese-lexique.html>
2. <https://www.futurasciences.com/planete/definitions/geologie-minerai-1553/>
3. <https://www.icmm.com/fr/metaux-et-mineraux/produire-des-metaux/que-sont-les-mineraux-et-les-metaux#:~:text=Les%20m%C3%A9taux%20de%20base%20sont,formes%20et%20de%20tailles%20normatives.>
4. <https://www.brgm.fr/fr/reference-projet-acheve/synthese-geologique-miniere-madagascar>
5. <https://books.openedition.org/cdf/4748?lang=fr>
6. <https://www.paprec.com/fr/comprendre-le-recyclage/tout-savoir-sur-les-matieres-recyclables/ferrailles-et-metaux/la-classification-des-differents-types-de-metal/#:~:text=On%20y%20retrouve%20principalement%20le,retrouvent%20%C3%A9galement%20dans%20cette%20famille.>
7. <https://www.vie-publique.fr/parole-dexpert/289457-terres-rares-quels-enjeux-pour-la-france-et-leurope#:~:text=Les%20terres%20rares%20sont%20constitu%C3%A9es,ainsi%20que%20Scandium%20et%20Yttrium.>
8. <https://www.piecemaitresse.fr/blog/quest-ce-quune-gemme--b45.html#:~:text=Sous%20l'appellation%20de%20pierres,le%20rubis%20et%20l'%C3%A9meraude.>
9. <https://www.goldlineorpaillage.fr/veines-auriferes-depots-hydrothermaux-et-seismes/>
10. <https://www.rapiddirect.com/fr/Articles/source-vs-acier/#:~:text=La%20fonte%20contient%20plus%20de,de%20diff%C3%A9rentes%20qualit%C3%A9s%20et%20nuances.>
11. [https://www.geowiki.fr/index.php?title=Monazite-\(Ce\)](https://www.geowiki.fr/index.php?title=Monazite-(Ce))
12. <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-cerium-15174/>
13. http://madarevues.recherches.gov.mg/IMG/pdf/hary7_3_.pdf
14. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/colombite-tantalite/>
15. <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-cobalt-14793/>
- 16.

17. <http://minesqc.com/blogue/le-niobium-un-allie-de-lenvironnement/#:~:text=Le%20niobium%20est%20surtout%20utilis%C3%A9,et%20les%20tiges%20de%20soudure.>
18. https://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/documents/2021-05/brgm_plaquette_tantale_2012.pdf
19. <https://www.imerys.com/fr/mineraux/graphite#:~:text=Le%20graphite%20naturel%20est%20,ainsi%20que%20dans%20les%20m%C3%A9t%C3%A9orites.>
20. <https://www.futura-sciences.com/sciences/questions-reponses/energie-forme-charbon-6216/>
21. <https://www.planete-energies.com/fr/media/article/utilisation-charbon-electricite-siderurgie-carbochimie#:~:text=Il%20est%20utilis%C3%A9%20dans%20les,r%C3%A9duction%20des%20oxydes%20de%20fer.>
22. [https://www.energie-online.fr/fossiles/guide/charbon.htm#:~:text=Le%20charbon%20est%20une%20%C3%A9nergie,%3E%2090%20%25%20de%20carbone\).](https://www.energie-online.fr/fossiles/guide/charbon.htm#:~:text=Le%20charbon%20est%20une%20%C3%A9nergie,%3E%2090%20%25%20de%20carbone).)
23. <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/energies-fossiles/tout-savoir-petrole#:~:text=Le%20p%C3%A9trole%20r%C3%A9sulte%20de%20la,lacs%20ou%20dans%20les%20deltas.>
24. <https://odysseedelaterre.fr/energies-fossiles-formation-exploitation/>
25. <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/formation-du-petrole>
26. <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/materiau-bitume-19696/>
27. [https://nuclearsafety.gc.ca/fra/resources/fact-sheets/naturally-occurring-radioactive-material.cfm#:~:text=Les%20mati%C3%A8res%20radioactives%20naturelles%20sont,se%20d%C3%A9sint%C3%A9grer\)%20et%20de%20potassium.](https://nuclearsafety.gc.ca/fra/resources/fact-sheets/naturally-occurring-radioactive-material.cfm#:~:text=Les%20mati%C3%A8res%20radioactives%20naturelles%20sont,se%20d%C3%A9sint%C3%A9grer)%20et%20de%20potassium.)
28. <https://www.andra.fr/les-dechets-radioactifs/la-radioactivite/explication-du-phenomene#:~:text=Les%20atomes%20radioactifs%20%3A%20une%20%C3%A9nergie,atome%20en%20un%20autre%20atome.>
29. <https://www.jeuneafrique.com/766250/economie/mines-a-madagascar-la-kraoma-veut-se-relancer-malgre-les-zones-dombres-du-partenariat-russe/>
30. <https://www.rapport-gratuit.com/rappels-sur-le-charbon-de-terre/#:~:text=Elle%20a%20une%20teneur%20en,des%20fibres%20v%C3%A9g%C3%A9tales%20incompl%C3%A8tement%20transform%C3%A9es.>

31. <https://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/documents/2020-12/fichecriticitenickel170129.pdf>

32.