

Mission civilisatrice à Madagascar

L'atome

et exploitations de singularités géologiques

anegeo 15/05/2022 (09/01/25)

Ce texte va avec :

- ▶ [Les temps malgaches](#)
- ▶ [La colonie](#)

Plan :

I. Réputation minière de la Grande Île

I-1. Pendant les temps malgaches	
I-2. La colonie de 1896 à 1944	2
I-2-1. Minéralogie-géologie, Alfred Lacroix	
I-2-2. L'or	
I-2-3. Le graphite	
I-2-4. Le mica phlogopite	7
I-2-5. Les pegmatites type granite	10
I-3. L'engouement du radium	13
I-3-1. Autour du couple Curie	
I-3-2. Le minerai exploité.	16
I-3-2-1. Terre d'urane	
I-3-2-2. La betafite	
I-3-3. Thorium et cérium	
I-4. Aparté sur les hydrocarbures et... la France d'aujourd'hui.	20

II. La destruction des villes de Hiroshima et de Nagasaki précipite l'impatience des scientifiques et politiques

II-1. De fortunes, comportements et activités diverses pendant la guerre à l'assemblage d'un CEA ..	24
II-1-1. Cadre historique de la découverte de la fission de l'uranium	
II-1-2. Les mouvements dans la guerre	
II-1-3. Frédéric Joliot à Paris	27
II-1-4. Le moment de la libération	
II-1-5. Réactions scientifiques et administrative à la nouvelle de l'efficacité de la bombe	
II-2. Uranium : précipitations aux sites connus	33
II-2-1. Les américains d'abord, 1943-44	
II-2-2. Les premiers nucléocrates français, 1944-45	
II-2-2-1. La Madagascar a été désignée par les scientifiques comme indispensable à l'atome ...	34
II-2-2-2. Retour à l'autunite	
II-2-2-3. Retour aux pegmatites	
II-2-2-4. Les subventions sont pour les CEA-Pechiney, la répression militaire pour les autochtones	
II-3. Le Beryl 1949-64	37
II-3-1. Le béryllium est une matière nucléaire	
II-3-2. 1950, tractations atomiques avec l'Inde	
II-3-3. Madagascar, retour aux pegmatites	
II-4. L'urano-thorianite, 1953-67	40
II-4-1. Outre l'uranium, le thorium était aussi considéré comme matière nucléaire	
II-4-2. Le minerai extrait	

II-4-3. Le travail d'extraction-concentration	...	...	...	...	...	...	...	...	44
II-4-4. Métallogénie (géologie)	...	...	...	...	...	...	...	...	46
II-5. Uranium dans les roches sédimentaires (1958-1963)									
II-6. La monazite des plages, 1958-1966...	...	...	...	...	...	...	...	...	50
II-6-1. Cérium, lanthane et... thorium									
II-6-2. Le duo CEA-Pechiney, la Sotrassum									
II-6-3. Minéraux lourds dans les sables (technique)									
II-7. Le devenir des minerais malgaches en France	...	...	...	...	...	...	...	...	55
II-7-1. L'usine du Bouchet, chimie, métallurgie, réacteurs atomiques...									
II-7-2. Où est le thorium et reliquats des CEA-Pechiney ?	...	...	...	...	...	...	...	...	59
II-7-2-1. Nitrates et hydroxydes de thorium									
II-7-2-2. Les sulfates de plomb radifères									
II-7-2-3. Autres déchets									
Annexes									
A-I. Les terres rares	...	...	...	...	...	...	...	...	64
A-I-1. Classification périodique des éléments									
A-I-2. La Société des Terres Rares, STR von Welsbach, Serquigny, guerre, après-guerre, La Rochelle	...	...	...	...	...	...	...	...	67
A-I-3. Nouveaux usages des terres rares .	...	...	...	...	...	...	...	...	71
A-I-4. Les résidus	...	...	...	...	...	...	...	...	72
A-II. Complément biographique	...	...	...	...	...	...	...	...	74
A-II-1. Banque Worms									
A-II-2. Dautry, Raoul									
A-II-3. Denivelle Léon	...	...	...	...	...	...	...	...	79
A-II-4. Gibrat Robert									
A-II-5. Guillaumat Pierre									
A-II-6. Pechiney - Raoul de Vitry, aluminium	...	...	...	...	...	...	...	...	84
A-II-7. Saint Gobain- P. Hély d'Oisel									
A-III. Lexique des termes géologiques	...	...	...	...	...	...	...	...	88
Bibliographie	...	...	...	...	...	...	...	...	95

Une présentation géologique de la Madagascar est : [ici](#)

I. Réputation minière de la Grande Île

I-1. Pendant les temps malgaches

▪ Il y avait une intime persuasion française dès la moitié du XIX^e siècle qu'il y avait un riche gisement de houille au Nord-Ouest de l'île. Le projet Lambert-Napoléon III reposait notamment sur ce dit gisement (Jacob 1996, t. 1, p. 43). Encore le 27 octobre 1891, un François de Mahy décidé d'en découdre (via l'armée...) avec les *Hova* affirmait devant une chambre des députés apathique avoir lui-même vérifié l'existence du gisement. Cela alors même qu'un ingénieur de St Étienne, Henri Guinard, avait été spécialement envoyé en 1888 pour « évaluer » ces dites mines de houille et que le résultat de son étude avait été commenté jusque dans le journal quasi-officiel *Le Temps* [ancêtre de *Le Monde*] du 26/12/1888 (Jacob 1996, t.3, p. 137-8) :

« On a avancé que le bassin houiller de Bavatobe est le plus riche du monde ; la Marine en demandait en conséquence la concession entre des mains françaises ou l'occupation pour assurer son approvisionnement ; enfin une compagnie financière, qui s'était arrangée pour hériter des droits d'un de nos compatriotes, réclamait une énorme indemnité sous prétexte de pertes énormes subies par la non exploitation **de ce qui n'existe pas** . »

Il n'y a jamais eu là que quelques niveaux noirâtres incombustibles...

▪ Quant à l'or alluvial, il y en a un peu partout dans l'île, connu des malgaches, qui savaient aussi qu'avec ses faibles teneur son extraction était très coûteuse en labour humain. Dans le Code merina des 101 (1868) puis 305 (1881) articles, l'exploitation des mines d'or était interdite. Les raisons qui datent de Ranavalona I^{ère} étaient que une personne pourrait s'enrichir à titre privé, que l'or attiserait l'avidité des puissances étrangères et que la priorité devait aller au travail agricole.

De fait or rime avec chute de la monarchie merina. Un tort majeur du premier ministre Rainilaiarivony a été de croire les sirènes occidentales sur ce point là :

« Dans ce but, Suberbie s'assure l'appui des deux principaux secrétaires du Premier ministre, Marc Rabibisoa et, surtout Rasanjy, personnages extrêmement influents à la cour d'Imerina. Il explique à Rainilaiarivony que quelques années d'une exploitation bien conduite devrait lui assurer des bénéfices suffisants pour lui permettre de rembourser le Comptoir d'escompte ; il réussit finalement à le convaincre. »
(Jacob et Koener 1972).

Le rendement miraculeux n'est jamais venu, particulièrement pour la grosse concession du français Suberbie. Bien au contraire, il a fallu pour cette exploitation créer un nouveau *fanampoana*, celui de l'or, à juste titre particulièrement impopulaire, s'ajoutant à la déjà nécessité d'un gros recrutement d'hommes pour l'armée face à la continuelle menace militaire française (là § II-7-4.). Et plus que ça, la concession Suberbie a été le cheval de Troie pour l'invasion militaire française.

I-2. La colonie de 1896 à 1944

• Académie coloniale

Une « Académie malgache » comme l'écrit sa couverture : « est fondée le 23 janvier 1902 à Tananarive par M. Le Gouverneur Général Gallieni ». Le premier but est de supplanter l'œuvre culturelle de la London Missionary Society, LMS, qui édite « *The Antananarivo Annual and Madagascar Magazine* » de niveau académique, qui cessera de paraître en 1900. Le premier *indigène* à figurer à l'académie était le principal collaborateur de J. Gallieni, le traître Rasanjy qui n'avait rien d'un érudit (il y en aura plus tard, essentiellement dans les *correspondants*).

Le premier Président est l'architecte du bâtiment de la résidence française à Antananarivo sous Le Myre de Vilers suite au traité de déc. 1885, Anthony Jully. Est publié le *Bulletin de l'Académie Malgache* (BAM) au contenu de curiosités un peu comme les sociétés savantes provinciales françaises. Lieu de sociabilité et de reconnaissance, le second président, de 1907 à 1948, le professeur de médecine Antoine Maurice Fontoynt (invité sur l'île par J. Gallieni) y publiera 400 articles sur toutes sortes de sujets, en amateur éclairé. Il est également membre du *Comité de Madagascar* (filiale de l'*Union Coloniale Française*), Vice-Président de l'alliance française à Tananarive.

I-2-1. Minéralogie-géologie, Alfred Lacroix

Alfred Lacroix (1863-1948) est l'un des minéralogistes célèbres du passage du XIX^e au XX^e siècle, représentatif de son époque où la géologie passe du purement descriptif au travail d'essai de compréhension

de la genèse des roches. Après dix années de travail minéralogique intensif au collège de France qui l'on amené au sommet de cet art qui l'avait passionné depuis son jeune âge, il est nommé à la chaire de minéralogie du Muséum en 1893.

L'expédition de conquête de Madagascar en 1895 a bénéficié, à son lancement, d'un élan *mainstream* (là § II-2.). C'est en participation à cet élan que le Muséum a fait une exposition publique avec ce qu'il possédait de l'histoire naturelle de la mythique Grande île. Cette exposition a été pour A. Lacroix l'occasion de s'intéresser plus particulièrement à cet endroit du globe. Certains beaux minéraux l'intéressaient beaucoup et il trouvait que le muséum en possédait trop peu.

Puis la Madagascar étant devenue partie de l'empire français. Il a alors organisé une filière d'échantillonnage. « *Plusieurs officiers répondirent à cet appel. Deux d'entre eux, Mouneyres et Villiaume, furent particulièrement actifs et dévoués...* » (Orcel 1950, p. 354, capt. Léopold Mouneyres sur l'île 1904-08, normé pour l'occasion Chef du Service des mines suite à stages au Muséum ; lieutenant d'artillerie Maxime Villiaume sur l'île 1896-1902); également un élève minéralogiste et prospecteur malgache, Jean-baptiste Rasamoel, ou encore le naturaliste révérent Richard Baron (sur l'île 1872-1907).

C'est dans les pegmatites altérées, souvent autour d'un cœur de quartz massif, que l'on trouve accessibles de beaux cristaux (non pas dans d'interminables séries gneissiques d'ailleurs souvent recouvertes de latérite). L'altération a été très forte dans ces zones intertropicales (là § III) et cela aidait à repérer les pegmatites :

« *Les larges cœurs de quartz massif des grosses pegmatites zonées sont des survivants que l'on remarque à ce processus d'érosion. Ces structures zonées centrales ressortent comme traits saillants dans une mer de latérite rouge, exposant des crêtes ou masses elliptiques blanches arrondies que l'on distingue souvent d'une distance de 2 ou 3 km.* » (Bourret 1988, p. 183).

C'est cette collecte structurée des nombreuses pegmatites surtout qui est la base de son gros travail qui a donné célébrité minéralogique à l'île : « *Minéralogie de Madagascar* », publié en 1922-23, trois volumes avec un total de 1790 p., vol. 1 minéralogie, vol. 2. géologie économique, vol. 3 lithologie, stratigraphie et géographie.

Alfred Lacroix lui-même ne visitera l'île que une fois, pendant 4 mois sur 1911-1912, un voyage partagé avec l'île de la Réunion et son volcan actif sur demande des autorités.

En juin 1914 il est nommé *Secrétaire Permanent* de l'Académie des Sciences et le restera jusqu'à sa mort. Son activité devient alors plus d'organisateur et décideur. Mais, la géologie progressant beaucoup par ailleurs, ainsi que des exploitations minérales sur l'île, il écrira encore des synthèses avisées qui ont fait références.

Pour Madagascar (rapporté in Canavesio 2011, p. 127-130) :

« *J'ai décrit minutieusement ses conditions de gisement, en insistant sur les gisements qui sont exploités ou exploitables, en indiquant, pour les substances dont l'emploi est le moins courant, les utilisations industrielles réalisées ou qu'il est possible d'envisager. **L'étude des gisements de l'or, des gemmes et des minéraux radioactifs a été particulièrement développée** en raison de leur importance pour la Colonie et aussi des particularités spéciales, intéressantes à un point de vue général, qu'ils présentent à Madagascar.* » (A. Lacroix, tome II, 1922, Avant propos).

▪ Lorand (2010) : « *L'époque d'Alfred Lacroix au Muséum correspond à l'apogée de l'Empire Colonial Français, qui s'étend sur plus de 4 millions de km² en Afrique occidentale et équatoriale mais aussi à Madagascar, dans la Péninsule Indochinoise et dans Pacifique. Ce sont autant de territoires restant à explorer du point de vue minéralogique, et plus tard à mettre en valeur pour leur richesses minérales. C'est Madagascar, dont la conquête est achevée en 1896-1899 qui retient son attention du fait des légendes circulant sur les fabuleux trésors minéralogiques de cet île qu'à peu près personne n'a pu explorer... (...) ... pour la collecte des échantillons, Alfred Lacroix bénéficie du concours de l'administration militaire coloniale, notamment des officiers envoyés acquérir les rudiments de la minéralogie au Muséum, puis des différents services coloniaux... ..auxquels sont remis des questionnaires types permettant de recueillir les informations essentielles sur les échantillons envoyés. (...). Une de ses élèves pétrographe du Muséum, Yvonne Brière, est attachée au service des Mines de Madagascar (1923-1933) et continue son œuvre... ».* Il y aura plus de 3000 échantillons de Madagascar.

I-2-2. L'or

C'est, avec les terrains à café, la première chose sur laquelle se sont précipités les colons-en-devenir derrière la soldatesque d'invasion. Ils obtenaient toutes les terres qu'ils voulaient, les vaincus devaient laisser la place (Fig. 1.). Les alluvions ne sont pas riches et il faut beaucoup de main d'œuvre (il n'y a pratiquement pas d'investissements pendant longtemps) qui suite à la soumission militaire et avec le statut *indigène*, ne coûtait

pas grand-chose. Les alluvions connues d'exploitation facile ont vite été exploitées et la Fig. 2. montre que la production est montée assez vite à 3700 kg en 1909. Ensuite c'était plus difficile jusqu'à devenir quelque chose de mineur à partir de 1920.



Fig. 1. Vazaha prospecteur d'or en bottes sur sa filanzane ("années 1900-1905") et travail à la battée par les désormais indigènes terrorisé-e-s en "1902" en rivière à Dabolava (rivière et village) à l'Est de Miandrivazo, District de Betsiriry, dans le Manabe (photos ANOM, Archives Nationales Outre-Mer, base Ulysse). La petite rivière Dabolava se jette au NE dans la Ambatakazo qui se jette au Nord dans la Mahajilo qui se jette à l'Ouest dans la Tsiribihina qui elle se jette dans le canal du Mozambique dans un delta où se trouvait le bourg d'Ambiky (maintenant Belo-Tsiribihina). Or ce bourg de Ambiky 140 km à l'Ouest de Dabalova a été entièrement massacré 5 ans avant, le 30 août 1897, par surprise au petit matin sur ordre du commandant Augustin Gérard et capitaine Emile A. Mazillier, comme application de la méthode J. Gallieni de pacifier par la terreur. Ces sakalaves avaient été présentés à Paris comme les grands amis de la France qui n'attendaient qu'elle pour "la délivrance de la dictature hova", selon la propagande du lobby colonial pour justifier l'attaque de l'île (là § II-4-1. Exemple 1).

- Sur le plan géologique l'or détritique provient du démantèlement d'essaims de filons de quartz épais de 10 à 80 centimètres avec pyrite (rare galène et chalcopryrite) et or (tout petit, rarement visible). En plus des alluvions des filons ont été exploités. Outre dans les filons de quartz au contact desquels les gneiss sont silicifiés sur quelques décimètres, on peut trouver de l'or dans les contacts silicifiés de certains filons de granites (forage).

Ils sont datés de la fin de l'orogénèse pan-africaine (~ 550 Ma).

Leur origine est hydrothermale (mesothermal; voir A-III, lexique), ces métaux ayant été amenés-déposés par des fluides. La géochimie semble indiquer qu'une bonne partie des fluides (CO₂, H₂O et SO₂) ont une origine magmatique, liant la minéralisation (sulfures et or) aux granites tardi-pan-africains en profondeur du centre et Nord de l'île. Les roches acides sont pauvres en or aussi il faut faire intervenir d'une manière où d'une autre des roches basiques qui en contiennent plus, que ce soit via le matériel qui a fondu, ou que ce soit la préconcentration déjà dans cette unité Tsaratanana/Beforana basique dans laquelle on les trouve (ou une autre en profondeur) afin de concevoir un stock suffisant pour expliquer la minéralisation. Car Maevatanana, zone de la vaste concession Suberbie se trouve dans cette unité basique.

- Dans la région de Dabolava il y a, en plus des filons de quartz, des veinelettes de quartz à pyrite et or diffuses et concordantes à la foliation dans des amphibolites du Sub-domaine Ikalavony (cf. présentation générale là § IV-1-2-6.). Dans ce sub-domaine au moins, Il apparaît qu'il y eu une première concentration d'or, ancienne, dans cette série volcano-sédimentaire basique (peut-être un ancien arc volcanique), qui est reprise en une deuxième étape de concentration en fin de l'orogénèse pan-africaine.

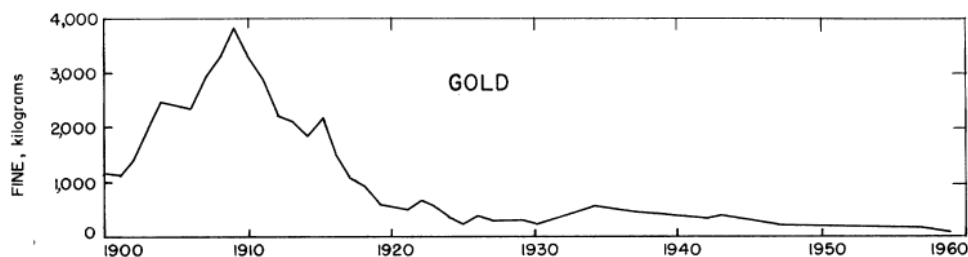


Fig. 2. Or qu'ont fait extraire, à la bête essentiellement, et ont vendu, les premier colons débarqués sur la Grande île (in Murdoch 1963 p. 17).

I-2-3. Le graphite

On a vu ailleurs ([là](#) § III-2-1.) que quelques années avant et pendant la première guerre mondiale l'île a produit le **graphite**, autrefois appelé *plombagine* ou *mine de plomb*, pour la fabrication des creusets métallurgiques destinés à la fusion du laiton (à cause de sa grande résistance thermique, sublimation à 3825°C, rentre dans la composition de l'enduit des moules), aussi pour les lubrifiants et autres usages (voir A-III, Lexique).

Le *Syndicat Lyonnais de Madagascar*, SLM, a été créé dès l'invasion de l'île par le lyonnais Léon Bousand (il y a eu plusieurs changements de noms ; des fusions, etc.) et a bénéficié d'une suite de concessions de l'administration coloniale (en 1915 le directeur du SLM, J.B. Sescou, est l'ancien dir. du CNEP sur l'île, vice-président de la section Madagascar à l'*Union Coloniale française* et membre honoraire du Conseil d'Administration de la colonie).

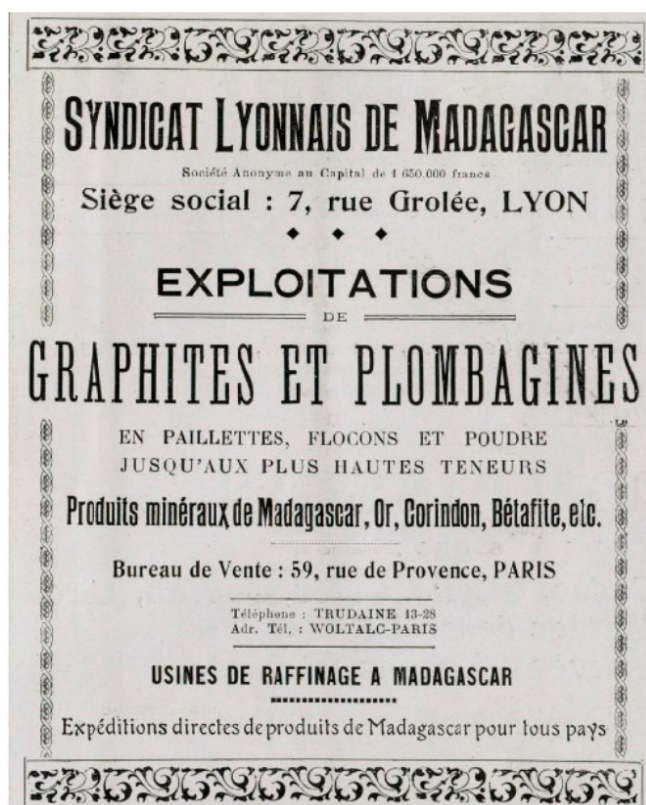


Fig. 3. dans *La Presse Coloniale illustrée*, supplément, juillet 1923 (entreprises-coloniales, [là](#))

Le SLM a d'abord exploité l'or, avec d'anciens militaires dans ses rang pour commander les bras *indigènes*. Mais, à l'approche de, puis la guerre, ils ont commencé à faire plus d'argent avec le graphite (à la pioche par des indigènes surveillés). Après la guerre avec les stocks, les prix du graphite ont chuté. Sauf cependant pour les qualités supérieures. Le SLM a alors coopté dans son C.A. un spécialiste des mines coloniales, René Brard (ingénieur ECP, qui a dirigé la cimenterie de Haiphong, puis de Maubeuge, est retourné en 1907 au Tonkin comme directeur des mines d'étain de Caobang, puis comme Administrateur des *Etains et wolfram du Tonkin*; entreprises-coloniales, [là](#)).

Il y aura des tentatives de diversification (pierre précieuses, minerai pour le radium...) mais en améliorant la qualité du produit fini le graphite restera son activité majeure (Fig. 3).

Le graphite en paillettes de Madagascar est réputé mais son état de pureté-concentration dépend de la possession d'unités de tri performantes. Le syndicat avait avant guerre, lancé une usine d'enrichissement mécanique à Tananarive (laverie, tablier de séchage). En 1927 il a jouissance d'une nouvelle usine de raffinage d'Anjeva à l'Est de Tananarive sur l'Ivovoka contre le chemin de fer, et en 1930 il s'est équipé d'une installation mécanique de flottation.

Le 07/08/1934 et le 10/02/1937, le SLM obtient de l'administration trois nouvelles concessions dans le district de Brickaville (i.e. pas loin du chemin de fer), de 2500, 2500 et 2400 hectares (entreprises coloniales, [là](#)). Le plus gros acheteur est l'Angleterre suivie à parts égales par la France et des États-Unis. Fin 1940 et 1941, le graphite livré à Marseille allait essentiellement au 3^e Reich.

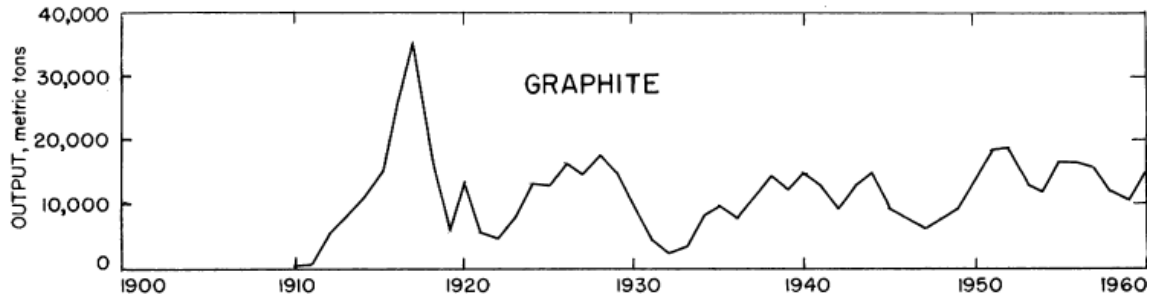


Fig. 4. Graphite que font extraire et vendent les sociétés de la Grande île (in Murdoch 1963 p. 17). Il y a le *Syndicat Lyonnais de Madagascar*, la *Sté Générale des Graphites* (filiale de la SFFC) et plusieurs autres.

I-2-4. Le mica phlogopite

L'extraction et commercialisation de mica-marchand est plus tardive, se développe pendant les années 1920. C'est un isolant électrique même très fin et qui résiste à la chaleur. Il part à 90 % pour l'industrie électrique pour isoler les blocs de condensateurs, etc. Les micas blancs sont meilleurs isolants électriques (nécessaires pour les hautes fréquences) et plus résistants à l'altération. Mais la phlogopite est nettement plus résistante à la chaleur (on peut l'utiliser jusqu'à 900°C) tout en étant isolant électrique. A l'origine le mica était utilisé comme vitre pour constituer des fenêtres de poêles, de fours. De nos jours le mica broyé (à 3 -4 mm) est utilisé dans les boues de forages pour limiter les infiltrations des boues dans les terrains poreux et est utilisé dans des plaques pare-feu, etc., en remplacement de l'amiante.

« Le premier gisement a été découvert en 1912. Les concessions (à des vazaha uniquement) se sont multipliées, surtout dans le Sud-Est de la grande île. En 1918, l'exportation était de 18 t ; elle atteignait son maximum en 1928 avec 819 t., tombait à 138 en 1932, remontait à 677 en 1938... Pour la catégorie de mica phlogopite, ou mica ambré, Madagascar dépasse de loin celle de son unique concurrent, le Canada » (Robequain 1947).

- La plus grosse exploitation de phlogopite avec un équipement, qui existe toujours, était à Ampandrandava à la limite Androyen Anisien sur la Beraketa shear zone, à l'Ouest du complexe volcanique créacé de l'Androy, et 12 km au Nord de Beraketa, à l'Est de la N 13, ou encore c'est à 170 km vol d'oiseau au NW de Tolanaro/Fort dauphin. L'exploitation a commencé en 1929 par *L'Union des Micas* (A. Seyrig) filiale de la *Compagnie Générale de Madagascar*, CGM (7 rue Clichy, Paris 9^e, créée en 1924). Elle a été exploitée en galeries souterraines avec accès par puits, alors jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de profondeur.

Un peu plus au Nord, le gisement de Vohitramboa a aussi été exploité par puits galeries jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de profondeur.

- 150 km au Nord de Ampandrandava, les mines de Benato, 30 km au NW de Betroka, ont été exploitées jusqu'à 1931 par la SMGI, *Société des Minerais de la Grande Île* (filiale de la SFFC, qui a été présidée par Henri Saurin, premier Président nommé de La Banque de Madagascar). Elle sera rouverte jusqu'à - 150 m et principale productrice après la 2^{ème} guerre.

En 1926-1927, 81 % de la production totale de mica de Madagascar venait de ces deux sociétés, CGM et SMGI (entreprises-coloniales, [là](#)).



Fig. 5. Extraction de la phlogopite en galeries souterraines à Ampandrandava dans le Nord de l'Androy en "1938" et, gauche 2 mineurs "1930-1946" avec plaques extraites (photos ANOM, Archives Nationales Outre-Mer, base Ulysse, [là](#)).

Il y avait des ateliers de préparation marchande, une à Tolagnaro/Fort-dauphin par ex., où les parties détériorées sont coupées à l'aide d'un couteau suivi d'un clivage en "feuilles de cigarettes", par des femmes *indigènes* essentiellement selon les photographies d'époque.

▪ Géologie

Il y a quelques douzaines de gisements importants de phlogopite dans l'Androyen-Anisien. Il semble que partout les roches encaissantes de la phlogopite soient des clinopyroxénites dans cette zone au faciès granulite au sens large. La minéralisation est en général conforme au milieu de lentilles.

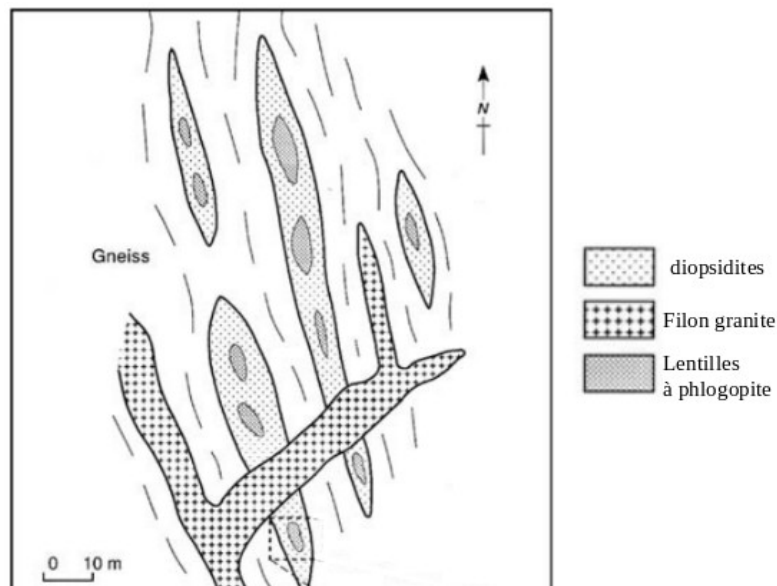


Fig. 6. Exemple de disposition de lentilles pegmatoïdiques à phlogopite dans la zone de Amboasary : au sein de lentilles de diopsidites (= clinopyroxène), elles-mêmes au sein de paragneiss à pyroxènes et amphiboles (lieu dit mine de Vohibola, 55 km plein Sud de Tranomaro, in Razakamanana et al. 2010)

À Ampandrandava il y a plusieurs bancs/filons de pyroxénite avec la phlogopite brun-foncé, du clinopyroxène (vert), de la calcite (rose), de l'anhydrite (lilas), de l'apatite (bleuâtre). C'est pegmatoïdique, i.e. les minéraux sont de grande taille.

A Vohitramboa la phlogopite est dans une couche de pyroxénites épaisse de 15 m à pendage Ouest (Pasquet 1990, p. 24).

A Benato est décrite d'une part une minéralisation conforme (au milieu du banc, avec calcite, anhydrite, pyrite) au sein des (plusieurs) bancs de pyroxénites inclus dans les gneiss-leptinytes régionaux, mais aussi dans des filons de pyroxénites sécants plus petits mais porteurs de phlogopites (Noizet 1963).

Plus à l'Est, de l'autre côté du complexe volcanique crétacé, au Nord de Amboasary, la phlogopite peut-être trouvée aussi dans des lentilles pegmatoïdique, également au sein de pyroxénites, avec du diopside, spinelle, de la calcite, de l'apatite, scapolite, anhydrite... (Fig. 6.), mais les cristaux sont plus petits.

▪ Pour l'encaissant : « *Les pyroxénites du Sud de Madagascar sont des roches très riches en pyroxène diopside [clinopyroxène], fréquemment mono minérale, généralement dépourvues de schistosité apparente... H. Besairie... montra... que si la disposition en feuillets ou en couches interstratifiées [bandes de faible épaisseur de pyroxénites intercalées dans différentes sortes de gneiss, marbres rares...] est la plus fréquente, il existe aussi des filons ou des apophyses d'aspect intrusif.* ». A grain moyen ces pyroxénites sont de couleur variable, noir-grisâtre, vert grisâtre, vert clair à vert foncé. Il peut y avoir du plagioclase. En composition moyenne en poids on a 45,8 % SiO₂ (ou moins), 23 % CaO, 10,4 % MgO, 9,9 % Fer total, 8,8 % Al₂O₃ (Majmundar 1962 p. 2-3, 23, 37).

L'origine de ces pyroxénites-hôtes (vues [là](#) en § IV-1-3-3.) est âcrement débattue :

- ce sont d'anciennes roches basiques auxquelles elles ressemblent à l'aspect,
- ce sont d'anciennes marnes ou marnes lacustres ou dolomie-évaaporites (complètement transformées par ce métamorphisme qui est parmi les plus forts).

Une majorité des géologues, depuis A. Lacroix penchent pour une origine sédimentaire, sur argument géochimique et/ou de terrain. Cela n'empêche pas Pili dans sa thèse (1997, p. 50), d'écrire catégorique que « *les pyroxénites minéralisées en phlogopite ne sont pas d'anciennes marnes mais dérivent, par métasomatisme, de roches magmatiques basiques.* ».

Majmundar (1962) qui travaillait sur les échantillons de H. de la Roche qui venait de faire sa thèse (passée à Nancy) sur ce Sud-Est de Madagascar a apporté des éléments géochimiques qui viennent en support d'une origine sédimentaire (tout en écrivant que le débat reste ouvert). Mais par-delà la question de l'origine : « *.. les "diopsides" des pyroxénites... ont une composition très particulière et relativement anormale pour des pyroxènes...* », « *les pyroxènes étudiés se distinguent par leur teneur élevée en alumine qui oscille entre 5 et 10 % [en général c'est moins de 3 %], anomalie complémentaire d'un déficit de silice... que le stock d'éléments de traces est lui aussi tout à fait particulier et qu'il se caractérise par l'abondance de certains éléments lithophiles (Sn, Be, Y, ...) contrairement aux affinités sidérophiles communes des pyroxènes.* » ; « *L'abondance anormale d'aluminium et de trace lithophiles dans la masse permet de mieux comprendre la naissance locale des amas "pegmatitiques" que sont les gisements de phlogopite, plus riche en aluminium que la masse.* », donc « *il apparaît déjà des affinités géochimiques certaines entre les pyroxénites elles-mêmes et les diverses minéralisations qu'elles renferment.* », « *L'ensemble de ces caractères géochimiques très particulier doit être relié à la présence de concentrations locales de phlogopite et...* » ; « *C'est ainsi que la métasomatose et la granitisation, très développées dans le Sud de Madagascar, semblent déplacer et remanier certains éléments mais non pas les introduire comme on aurait pu le croire a priori.* » ; « *En ce qui concerne les micas phlogopites, leur propriété la plus remarquable est l'abondance du fluor qui, dans certains cas, remplace quasi-complètement les groupes oxhydriles caractérisant habituellement le réseau des micas.* » (Majmundar 1962 p. 113, 115).

▪ Pratiquement tous les auteurs soulignent le lien de ces grosses phlogopites avec les zones de cisaillement crustaux du Sud de l'île considérés comme étant des chemins pour les fluides (CO₂, H₂O, F, B...) et des liquides fluides de fusion partielle. Et dans les fluides notamment H₂O qui est postérieure au pic métamorphique (granulite par définition déficitaire en eau), tardi ou post-orogénique. Il y a beaucoup de veines granitiques ou syénitiques dans ces zones. Les poches pegmatoïdiques à phlogopites se seraient formées postérieurement au pic du métamorphisme granulite, lors d'un métasomatisme des diopsidites par ces fluides et liquides granitiques le long de ces zones de cisaillement crustal.

Récemment des auteurs (Morteani et al. 2013) dans la mine de Ampandrandava ont observé ce qu'ils décrivent comme un liquide silico-carboné (à température > 800°C) d'origine crustale, accompagné de syénites elles

aussi coupant l'encaissant, les deux liquides contemporains étant immiscibles (ocelles de l'un dans l'autre). Ils proposent qu'il a été produit par fusion (très) partielle le long de la grande zone de cisaillement crustal *Beraketa high shear Zone*, BHSZ, cela à la fin de l'orogénèse panafricaine (vers 510 Ma).

- Quant au mica blanc, muscovite, c'est autre chose. Lui était extrait des pegmatites plus classiques (paragraphe suivant, § I-2-5).

I-2-5. Les pegmatites type granite

Les pegmatites, celles classiques liées aux granites, de Madagascar ont été datées de 550 à 450 Ma, sont donc liées au magmatisme de l'orogénèse pan-africaine (voir [là](#), Fig. 19.) Elles sont très nombreuses sur l'île, disposées en des champs dans toute la partie centrale et Nord.

• Les pegmatites potassiques (Fig. 7)

« Pegmatites à microcline : Ces dépôts sont le type le plus commun et largement distribué... Dans leur forme la plus simple, elles consistent seulement des deux constituants essentiels, microcline et quartz, avec ou sans comme accessoires, biotite, muscovite, tourmaline noire, béryl, almadin et apatite; telles quelles elles ne diffèrent pas des traits caractéristiques des pegmatites granitiques... d'autres parties du monde. » (Bourret 1988, p. 184).

« Le microcline est toujours le feldspath dominant mais parfois il est accompagné par de petites quantités d'albite en intercroissance qui forme de la micropertithe. Le quartz est invariablement présent. Le mica, qui peut-être soit de la biotite, soit de la muscovite, sert de base pour distinguer les deux subtypes... Elles contiennent invariablement du niobium, du titane et éléments terres rares. » (Bourret 1988, p. 184).

« ... les métaux rares... en petites touffes, cavités géodiques, veinettes, en groupements sur la périphérie des lentilles de quartz qui forment le centre de la plupart des pegmatites. » (Bourret 1988, p. 183).

- Bourret les classe en deux sous-types, a) un type à béryl-muscovite et b) un type à biotite-betafite (mais il y a aussi des intermédiaires, notamment dans les champs berere-Tsaranana) :

a) Était décrit le pôle dans lequel le **béryl** et la muscovite sont abondants. Elles ont été exploitées au début du siècle pour ces deux minéraux, le béryl en tant que gemme. La muscovite est résistante à l'altération et pouvait être récupérée dans la zone altérée. Dans ce type la biotite et la tourmaline sont peu présentes. Il porte un peu de minéraux du niobium et tantale (quasi pas d'U-Th). C'est le type qui est le plus largement distribué.

Pas très régulières ces pegmatites sont dans des schistes et gneiss, principalement d'insertion conforme à la foliation. « La région entre Ankazobe au sud, le lac Alaotra à l'Est et Maovatanana au Nord [i.e. champs de Vohambohitra] a été pendant de nombreuses années la source principale des gemmes de béryl de Madagascar... On trouve des dépôts typiques de ce type à Ambatofotsikely et Ampangabe. » (Bourret 1988, p. 185).

- « La carrière de Ambatofotsikely, qui a d'abord été exploitée pour le mica blanc sous Adrien Girod, a été plus tard ré-ouverte pour le radium par Léon Kraff. On y a séparé la samarskite et la columbite exportées en France. ». Les deux étaient alors considérées comme minerai radioactif. La columbite ne l'étant pas, cela devait être dû à de l'impureté, des inter-croissances avec une samarskite très légèrement uranifère. Cela ne faisait que abaisser la teneur du minerai betafite et n'était pas désirable (Hogarth 2010, p. 340-1).

Sur la carte de A. Lacroix qui a été la voir, la pegmatite de Ambatofotsikely est une 30aine de km au Sud-Ouest de celle de Ambatofotsy (donc d'autant plus éloigné du lac Itasy), au Sud de la rivière Kitsamby au méridien où s'y jette le petit affluent Isampola qui vient d'ailleurs de la zone de Mahavelona.

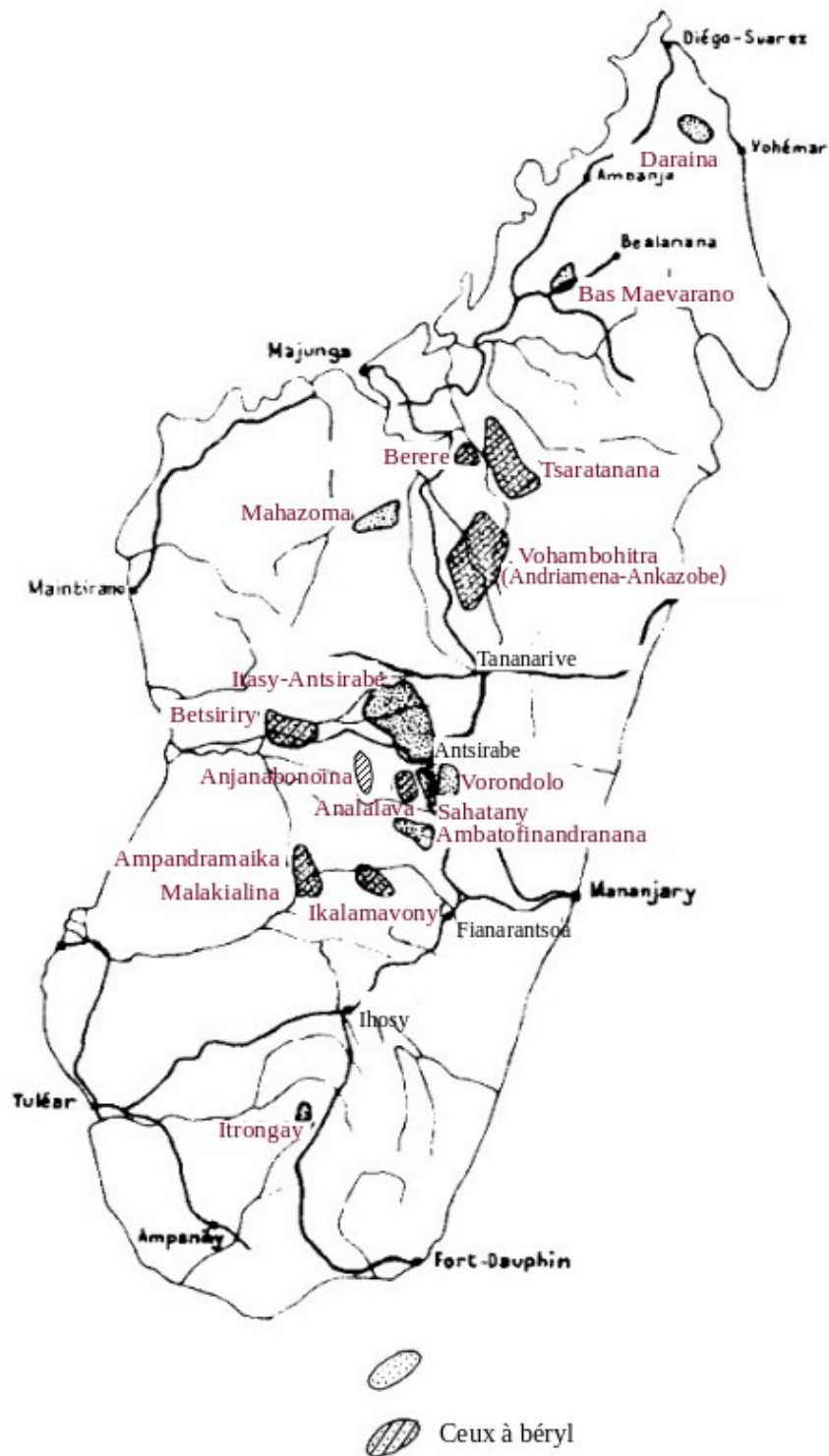


Fig. 7. Principales zones historiques riches en lentilles-filons de pegmatites. Les pegmatites les plus largement distribuées sont à beryl et muscovite (détail d'une pegmatite de Malakialina en Fig. 14 et 15). Le champs Itasy-Antsirabe avec des pegmatites à biotites (peu ou pas de beryl) est le principal qui a donné la minéralisation de niobium et uranium avec la betafite (surtout pegmatite de Ambatofotsy, Fig. 10). Le champs d'Ikalamavony a aussi donné du zircon, ceux de Sahatany et Anjanabonoina sont sodiques, celui de Ambatofinandrahana est fluo-carboné à bastnaésite (figure de Madagascar Republic 1968, modifiée).

b) Dans un deuxième pôle le mica est la biotite (mica noir), et il y a peu ou pas de béryl et de muscovite, c'est celui où a été trouvé souvent la **betafite** (pour ce minéral voir A-III, lexique).

« Les pegmatites à microcline... se sont formées par processus de cristallisation fractionnée et montrent une distribution zonée des minéraux plutôt bien définie. Les premiers minéraux, que l'on trouve typiquement sur les bords sont représentés par une phase granitique graphitique de microcline et quartz, généralement accompagné de biotite, tourmaline noire et quelque fois d'un peu de plagioclases. Il y a transition graduelle de la zone de bordure via le granite graphitique à microcline, vers l'intérieur à une zone de cristaux individuels massifs de feldspath (souvent de l'amazonite) qui régulièrement ont une dimension maximale de 1 à 2 m ou plus. Suit à cet arrangement zonal, et qui occupe la partie centrale du filon, une phase de quartz qui consiste en masses de formes lenticulaires, ou séries de lentilles irrégulières, grossièrement conforme à la disposition ou forme de la pegmatite, et qui souvent fait un quart à un demi du dépôt total. Finalement, le groupe des minéraux uranium et thorium, ensemble avec la biotite, semblent avoir été introduits à la suite de la phase du quartz. De manière typique, ces minéraux se trouvent localisés en touffes en périphérie des lentilles de quartz, principalement avec la biotite mais quelque fois au contact feldspath-biotite, bien que rarement à plus de plusieurs cm de distance du quartz... Quand le quartz est en contact avec les minéraux radioactifs, il est toujours fumé ou de couleur gris foncé. » (Bourret 1988, p. 185).

Les principaux minéraux d'uranium sont des oxydes multiples de niobium, tantale, titane et yttrium, i.e., betafite, euxenite et d'autres. Ils sont communément associés ou même en intercroissance avec un ou plus de minéraux uranifères ou thorifères comme thortite, uranothorite, zircon, monazite...

« Les occurrences économiques les plus importantes sont groupées dans ou autour du petit batholithe Vavato, environ 40 km nord-Ouest de Antsirabe. Ces pegmatites, en tant que groupe, antérieurement à 1943, ont produit plus de 100 tonnes de concentrés riches en uranium, et représentent pratiquement l'entière production de Madagascar de minéraux extraits pour l'extraction du radium. Le contenu U_3O_8 des concentrés était en moyenne au dessus de 15 %. » (Bourret 1988, p. 185).

« ... la longueur totale moyenne et largeur de quelques 40 pegmatites du type riche en biotite mesurés sur le terrain est d'environ 70 m par 8 m, ce qui donne une surface moyenne d'environ 560 m² par corps. Cette figure contraste fortement avec les 15 000 m² d'aire de surface couverte par le dépôt d'Ambatofotsy et les 7000 m² de celui d'Ambatohasana. » (qui sont deux exception ; Bourret 1988, p. 186 ; village Ambatoasana au Sud de la rivière Kisamby; 20 km plein Sud de Soavinandriana soit ~ 30 km au Sud du lac Itasy).

• Autres minéralisations

▪ Il y a des pegmatites **sodiques**, avec albitisation du microcline, et à lithium, avec un assemblage minéral original (béryls multicolorés), surtout dans les champs de Sahatany et Anjanabonoina. Elles n'ont pas de minéralisation niobium-tantale. Les inclusions fluides indiquent que au moins la fin de leur genèse est hydrothermale (350-500°C).

« Les pegmatites de remplacement sodiques-lithium sont caractérisées par une abondance d'albite, pas seulement en intercroissances mais aussi en cristaux séparés. Une phase hydrothermale-pneumatolitique tardive est un trait caractéristique qui les distingue. Sont caractéristiques un nombre de minéraux accessoires mineurs qui contiennent les métaux alcalins lithium, césium, rubidium, etc. » (Bourret 1988, p. 184).

▪ Les dépôts de **bastnaesite** et monazite dans les champs d'Ambatofinandrahana sont liés à un petit complexe de syénites alcalines d'âge panafricain (540-570 Ma) qui est intrusif dans les roches du sub-domaine d'Itremo. La bastnaesite avec silification de la syénite (calcédoine), barytine et fluorine, et des veines de monazite (riche en terres rares pauvre en thorium), sont secondaires tardi-magmatique à hydrothermales.

▪ **Irongay**, Fig. 7., mis sur ces cartes, n'était pas situé sur les cartes topographiques. De fait ce vieux petit village entre les villes de Betroka et de Benenitra a plus ou moins disparu. Il semble que c'était le lieu à l'époque de A. Lacroix où l'on apportait les minéraux trouvés dans la zone pour les proposer aux acheteurs. Ce nom rime (seulement) avec curiosité minéralogique, des cristaux d'orthoses très transparents de sans couleur à jaune qualité gemme, de formes complexes, de 2 à 5 cm (avec aussi des diopside et zircons). Ils sont uniques à cet endroit. La couleur est due à du Fe^{3+} en substitution à Al. Ils viennent d'une zone qui s'étend vers le SE sur une 40aine de km. Selon Pezzotta (2001) ils sont en phase finale dans des cavités de petits filons de pegmatite près d'une intersection avec des bancs de marbre.

• Altération des pegmatites

« Les pegmatites sans exception ont subi une altération de surface intense, souvent à une profondeur de 20-40 m ou plus. Par conséquence des affleurements frais ou la collecte de spécimens non altérés n'a été possible que dans des cas isolés [on est en 1943-44]. Contrairement aux roches régionales, les pegmatites ne contiennent qu'une quantité subordonnée de minéraux ferri-fères. Le kaolin qui en résulte n'est pas rouge latéritique en couleur mais un plutôt léger rose à blanc. ». En dehors du cœur de quartz résistant qui ressort dans la topographie (ça peut être dans une vallée, n'importe où) « la décomposition et l'altération des feldspaths développe un matériel latéritique extrêmement friable composé de kaolinite et de gibbsite qui se désintègre nettement sur la pression de doigts. Après avoir dégrossi avec un pic ou autre outil pointu, les feldspaths peuvent être extraits facilement avec seulement une pelle à main... » (Bourret 1988, p. 186).

Par conséquent en l'absence d'un cœur résistant de quartz, ou à côté de lui, les pegmatites ne sont souvent que des traînées blanches sur affleurement frais et c'est dans les éluvions que l'on trouve les minéraux qui sont résistants à l'altération (ilménorutile, columbite, apatite, monazite, muscovite et zircon).

• Béryl

▪ A. Lacroix exposant son voyage sur l'île, a donné pour titre de sa communication, 1913, à la Smithsonian Institution : « *A trip to Madagascar, the country of beryls* » (Hogarth 2010, p. 344).

« Le béryl est parmi les minéraux les plus abondants des pegmatites de Madagascar (...). Il présente des particularités fort intéressantes, non seulement du point de vue scientifique, mais encore au point de vue économique. » (Alfred Lacroix, Tome I, 1922, p. 545). » (cité in Canavesio 2011, p. 127-130)

▪ De l'automne 1934 au printemps 1935, le chimiste et pilote d'aviation italien C. Adamoli (1894-1942) qui parcourt le monde à la recherche de Béryllium dans un avion du ministère de l'air italien (régime Mussolini), est accueilli par le gouverneur général Léon Cayla. Le journal *Le Madécasse* (journal des colons) du 18 Février 1935 titre : « Une richesse minérale qui dort - le glucinium » (site J. Bibert, [là](#)) :

« La récente visite du Commandeur Carlo ADAMOLI met au premier plan de l'actualité minière une question qui a été bien négligée jusqu'à ce jour : celle du glucinium, ce nouveau métal qui figure depuis quelques années dans la métallurgie américaine et qui vient de faire son apparition dans la métallurgie française. Jusqu'en 1930, le glucinium était considéré comme une curiosité de laboratoire ; aujourd'hui que ses applications industrielles sont de plus en plus nombreuses, ce métal est en passe de devenir un des premiers dans la technique des alliages qui, en ces dernières années, a fait faire tant de progrès aux constructions automobiles et aéronautiques. Après l'aluminium, de densité 2,7 et qui pèse quatre fois moins que l'argent, le glucinium est encore plus léger : densité 1,85.

Ce fut en 1798 que Vauquelin découvrit l'oxyde de glucinium, ou glucine, dans l'émeraude de Limoges ou béryl, d'où le nom qui lui fut donné de béryllium par les anglo saxons. (...)

Dans ces derniers temps, de nombreuses recherches ont été entreprises dans le but de découvrir des procédés de fabrication économiques.

C'est à M. Carlo Adamoli que revient le mérite d'avoir mis au point un procédé industriel de traitement du béryl pierreux qui permettra, en partant de ce minerai, d'obtenir la glucine à environ 10% des prix pratiqués actuellement. (...) Ce nouveau procédé - dont la description dépasserait le cadre de cet article - va permettre de généraliser l'emploi du glucinium dans la métallurgie des alliages. Nombreux sont à Madagascar, les prospecteurs qui, cherchant des « Vatosas » se sont rebutés devant les morceaux de béryls pierreux ; ils ignoraient alors que cette caillasse, qui faisait leur désespoir deviendrait un jour une source de profits. »

En fait une *Compagnie Générale du Béryl* avait déjà été créée en nov. 1932 avec C. Adamoli dans son Conseil d'Administration et avait obtenu une concession à Betafo. En juin 1936 son siège est transféré 7 rue Clichy, Paris, qui est l'adresse de la *Compagnie Générale de Madagascar* (dont une filiale exploitait la mine de phlogopite de Ampandrandava). Mais en 1946 cette Cie Générale du Béryl sera en adjudication pour cause de « Arrêté de déchéance en date du 29 décembre 1945 » (entreprises-coloniales, [là](#)).

I-3. L'engouement du radium

I-3-1. Autour du couple Curie

Décembre 1895 : W.C. Röntgen découvre les rayons X, l'image du squelette de la main de sa femme fait le tour du monde et fascine illico beaucoup médecins. Mars 1896 : événement plus discret H. Becquerel découvre que l'uranium émet des rayons, encore de nature différente, ils noircissent les plaques photos.

Juillet et décembre 1898 : suite à des traitements chimiques de cet uranium comme sujet de thèse à l'école de physique et chimie industrielle où son mari est professeur de physique, Mme Marie Curie (Marya

Sklodowska jusqu'à son mariage en juillet 1895) met en évidence l'existence du polonium puis du radium, qualitativement bien plus radioactifs que l'uranium.

Dès 1901 H. Becquerel et P. Curie publient que le radium pourrait "soigner" (i.e. détruire des tissus là où on le pose) et c'est un engouement de médecins pour le radium aussi (début de la radiothérapie; Lenoir, 2016, p. 47).

- Il faut beaucoup de minerai d'uranium (élément isolé par le chimiste allemand M. Klaproth en 1789) pour obtenir très peu de radium. Son usage jusque là était assez anecdotique, comme colorant du verre et vernissage des poteries (jaune surtout, orange) de Bohême et de Saxe depuis la deuxième moitié du XIX^{me}, et qui gardaient secret leur savoir faire. Avant 1913, c'est la pechblende qui vient surtout de Joachimsthal au Nord-Ouest de la Bohême sur la frontière allemande (actuel Jáchymov en république Tchèque) qui fournit pratiquement tout l'uranium/radium mondial. C'était alors partie de l'Autriche, et qui est du côté allemand pendant la première guerre. Sinon on ne connaissait en France que un peu d'autunite ainsi que au Nord-Est du Portugal (région Guarda-Sabugal, 1908) et il y avait une veine de minerai pauvre sur la côte Sud du Cornwall, Angleterre, vite épuisée.

De leur côté les USA avaient décrit la carnotite du Montrose County, Colorado, en 1899. C'est à partir de 1912, une fois résolues les difficultés de concentration et d'extraction qu'ils deviennent, et de très loin, les plus gros producteurs de radium, d'abord la Standard Chemical Company des frères J.M. et J. J. Flannery près de Pittsburgh en Pennsylvanie, puis d'autres.

Ce radium était réservé d'abord aux USA gros consommateurs, les « radium girls » c'est la fin des années 1910 et pendant les années 1920, et le drame sanitaire est compris et publié par Martland et al. dès 1925 (Jl. Am. Med. Assoc., vol. 85(23) : 1769-76) ce qui ne change pas que ces jeunes femmes où leurs proches quand elles meurent vont galérer leurs dernières années en justice face à un lobby tout puissant. Par ailleurs de nombreuses personnes, la plupart non connues, ont été exposées volontairement au radium 226 et 228 aux USA, par des médecins, par des produits vendus....

Les USA n'exportaient le radium qu'à un prix exorbitant. Cette extraction au Colorado cessera en 1923 avec la concurrence de l'uranium du Congo par le colonisateur belge.

Marie Curie et ses proches alliés industriels qui lui sont nécessaires pour l'extraction (les Curies n'ont jamais pris de brevets sur leurs découvertes) : Armet de l'Isle (1853-1928) qui se lance dans son extraction dès 1904 (le radium se vend à un prix fou) à Nogent-sur-Marne à l'Est de Paris, et le Dr. H. Rothschild qui veut sa source médicale, au Nord de Paris sur l'île Saint-Denis, devaient chercher des sources de minerai d'uranium. Des médecins réclamaient du radium pour soigner toutes sortes de choses.

De plus pour le quantifier, pour l'étude de ses effets, pour la vente, un étalon devenait nécessaire d'autant que le radium était maintenant extrait dans plusieurs pays, États-Unis, Angleterre, Autriche (1903)...

En 1910 Marie Curie lance l'idée d'un *Institut du Radium* avec l'Université de Paris pour la partie physique-chimie et l'Institut Pasteur (Claudius Regaud) pour la partie biologie médicale. Les bâtiments sont finis en 1914. Mais la guerre arrive, l'Institut fabrique alors des « ampoules d'émanation » pour le service de santé des armées, le baron H. de Rothschild ayant acheté et offert du bromure de radium pour l'Institut. Après la guerre 18 lits seront réservés à l'hôpital Pasteur pour une "curiethérapie" par le radon. Au début des années 1930 une des deux filles de M. Curie, Irène, et le gendre Frédéric Joliot, travaillent à cet *Institut du Radium*. Eux auront le prix Nobel de chimie 1935 pour la découverte de radioactivité induite découverte en 1934 quand Marie Curie était encore la patronne du laboratoire.

Par ailleurs, sur un don du baron et Docteur Henri de Rothschild (qui sera dans le C.A.), est créé la *Fondation Curie* avec C. Regaud et M. Curie. La Fondation est reconnue d'utilité publique en 1921 (alors rue d'Ulm pour consultations et traitements ; aujourd'hui Institut Curie à côté, rue Lhomond Paris 5^{ème}, avec l'hôpital Claudius Regaud, rue d'Ulm).

- En France « *Henri de Rothschild, un grand supporter du traitement par le radium en médecine, avait un gros problème : l'usine de Nogent-sur-Marne [celle de l'industriel Armet de l'Isle avec les Curies], en production depuis 1904, n'avaient pas les capacités de fournir les hôpitaux français avec suffisamment de radium. Il prévoit alors de fonder une nouvelle usine sous le nom de La Société anonyme des Traitements chimiques (SATC). Le bâtiment était au quai du Châtelier, sur l'île Saint-Denis, dans la Seine, environ 10 km au N-NE de la Tour Eiffel. La responsabilité a été confiée à Albert Laborde et Alfred Muguet, des protégés des Curies. Le bâtiment (1910) faisait initialement seulement 30 m sur 13 m, mais en 1914, il a été agrandi pour prendre en charge les minerais d'oxydes malgaches. En dehors de la raffinerie, il y avait maintenant un emplacement pour loger le gardien, des bureaux administratifs, et un bureau et un laboratoire pour Mme Curie.* » (Hogarth 2010, p. 337). « *Henri de Rothschild qui réservait initialement le*

radium de l'île Saint-Denis pour les traitements médicaux dans les hôpitaux, a été lui aussi attrapé dans la ferveur nationale et une grande partie de la production de temps de guerre de sa raffinerie est partie dans les écrans lumineux dans les tanks, les porteurs d'armement et autres véhicules blindés (Curie 1925). » (Hogarth 2010, p. 338).

« Avec le retour de la paix... Henri de Rothschild pouvait aussi retourner à son intérêt premier : le traitement du cancer par le radium, et ses activités dans ce domaine étaient reprises dans sa clinique de la [199] rue Marcadet, Paris. Le bâtiment a été reconstruit en 1929 et renommé L'hôpital [et Fondation] de Mathilde et Henri de Rothschild...

L'usage principal après-guerre de substances radioactives était dans les sciences médicales (pour le traitement du cancer). On savait alors que les organisme vivants, y compris les cellules cancéreuses, pouvaient être détruites par de fortes radiations. A cette fin, l'équipe médicale de Rothschild faisait des expérimentations avec le puissant émetteur de rayonnement gamma, le bismuth-214, ou "radium C" comme il était alors appelé. Cet isotope était présent comme produit-fille de courte durée de vie de la séquence principale de décroissance de l'uranium (série U-238) et était constamment disponible, en quantité très minime, dans les pechblende, carnotite et betafite... » (Hogarth 2010, p. 338).

▪ Dorikens (1998 p. 204) donne : « Pour obtenir un gramme de l'élément radium, les quantités suivantes sont nécessaires :

- 8 tonnes de pechblende (St Joachimsthal) ou 800 tonnes d'autunités,
[dans le cas présent, si 7000 sacs de 60 kg donne 1g de "sel" (selon Fig. 8.) c'est 420 tonnes, mais dans RaBr₂ l'élément radium représente 60 % du poids moléculaire, il faut alors 700 t pour 1g de l'élément Ra ?]
- 300 tonnes de produits chimiques,
- 200 tonnes de charbon,
- 15 000 tonnes de liquides. ».

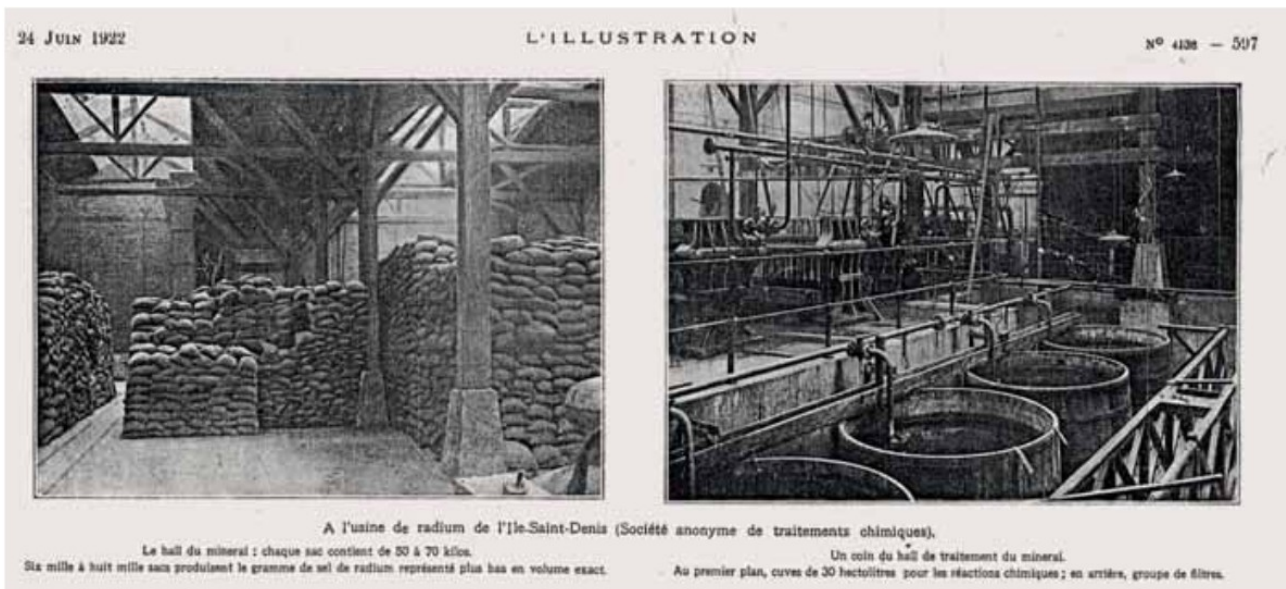


Fig. 8. L'illustration du 24 juin 1922 : « A l'usine de radium de l'Île Saint-Denis (Société anonyme de traitement chimique) : [à gauche] Le hall du minerai : chaque sac contient de 50 à 70 kilos. Six mille à huit mille sacs produisent le gramme de sel de radium... [à droite] Un coin du hall de traitement du minerai. Au premier plan cuves de 30 hectolitres pour les réactions chimiques ; en arrière groupes de filtres » (in Contrôle n° 195)

Nota 1 : Le site SATCH-Henri Rothschild de St Denis, 6000 m², a été abandonné en l'état en 1927-28. En 1997 l'OPRI réalise que le site est pollué mais en gros ne dit rien. Finalement quatre-vingt ans plus tard en 2009-2015 ? l'IRSN/Andra s'en occupent (budget public, du bâti est détruit, 7000 m³, + décontamination des berges, de sols..., mais c'est seulement partiel). Dans la partie Nord, le débit de dose gamma à 50 cm du sol dépassait 2 µSv/heure (le débit naturel est de 0,11) sur une zone de quelques dizaines de mètres (jusqu'à 8 µSv/h). Cette contamination atteint la profondeur de 3 mètres et plus, par exemple 100 000 Bq/kg à - 3,5 mètres. L'eau de ce sous sol est aussi marquée en émission alpha (0,1 Bq/litre, avec également des traces de solvants chlorés et métaux), de l'uranium dont on apprend que de la pechblende aurait aussi été traitée sur le site. Le niveau de radon des vastes bâtiments industriels proches est inférieur à 400 Bq/m³ sauf dans une pièce où on découvre alors qu'il est de 20 000 Bq/m³. Jusqu'à 2005

se trouvait là (après d'autres) une unité qui fabrique de la gélatine utilisée dans la production de films photographiques à partir de carcasses d'abattoirs, Charvet. Le patron ignorait tout du passé du site où il s'était implanté. Dès qu'il a compris la contamination du sol, il a relocalisé ses bureaux administratifs dans la semaine. Depuis 2005 le site est interdit. Finalement il est prévu d'en faire un parc fermé au public où on mettrait des panneaux voltaïques, ce qui permettrait d'autres décontaminations "plus tard" (Contrôle/ASN n° 195, 2012, p. 29-30, 42-6, 76-77).

Nota 2 : L'usine de Armet de l'Isle avec les Curies à Nogent-sur-Marne (1904-1928) a été démolie. En 1969 le SCPRI du professeur Pellerin donne son feu vert pour la construction d'une école qui est appelée "Pierre et Marie Curie", sur son emplacement, avec une dalle de béton, mais sans décontamination. En 1986, vu le comportement du SCPRI/Pellerin pour le nuage de Tchernobyl, des parents s'inquiètent des compétences de ce service d'État. Mais c'est la STMI, filiale de Cogema qui est envoyée, qui trouve une irradiation, sans s'occuper du radon : « *aucun risque* » tout en faisant faire quelques travaux. En 1991 des parents font intervenir la CrieRad qui trouve une contamination radium en bordure de la cour de récréation. La mairie pro-nucléaire interdit à l'association de mesurer le radon dans les classes et rappelle le SCPRI qui mesure du radon (20 000 Bq/m³ dans le vide sanitaire, ils le font recouvrir de béton) : « *aucun risque* » tout en transformant l'école en Bunker (ventilation, rajout de béton, goudronnage de terre...). Dans la maison d'en face la CrieRad mesure 8000 Bq/m³ en radon (CrieRad 1994, [là](#), 1995, [là](#), 1998, [là](#)). En 1998 la CrieRad pourra mesurer 40 000 Bq dans le vide sanitaire, 15 000 Bq/m³ sur le toit à 2 m des tourelles d'extraction, des particules chaudes dans des massifs de fleurs ([là](#))... Finalement en 2011 la mairie fait détruire l'école « *Ces travaux d'excavation ont permis de mettre au jour les vestiges de l'ancienne usine (murs, conduites, cuves) qui avaient été laissés en place entre deux et quatre mètres de profondeur. Au fil des excavations sur la partie du site destinée à une dépollution poussée, il s'est avéré que les quantités de déchets radioactifs produites dépassaient largement les estimations initiales [de l'IRSN] et que le budget prévu pour l'opération ne serait pas suffisant pour mener le chantier à terme... D'ores et déjà un partie a été transformée en parking...* » (site ASN, 17/06/2014).

Nota 3 : Si les usines radium Saint-Denis de H. de Rothschild et Nogent-sur-Marne de Armet de l'Isle/Curies ont fermé, c'est à cause de la concurrence de la Société générale métallurgique de Hoboken près d'Anvers, filiale de l'Union Minière du haut Katanga, UMHK. Celle-ci a fonctionné de 1922 à 1977 et a été démantelée avec du nettoyage. Mais elle a généré plusieurs lieux de décharge dont la "D1" avec 217 000 m³ à activité très variable pouvant atteindre 930 000 Bq/kg. Là aussi le site lui-même et d'autres décharges qu'il a généré sont contaminés au radium (Contrôle/ASN n° 195, 2012, p. 82).

Nota 4 : Au USA, pays des *radium-girls*, il a fallu assainir le plus gros des sites radium de Montclair/West Orange et Glen Ridge dans le New Jersey (la *Radium Luminous Material Corporation* qui a traité la carnotite de 1915 à 1926), 20 km à l'Ouest de New York, sur lesquels ont ensuite été construites des zones résidentielles, et re-"découverts" en 1980 (investigations par mesures aériennes gamma) : 355 habitations (taux élevé de radon, voir en gamma), 300 000 tonnes de terre enlevées (parfois sous les maisons), 14 ans de travaux (1990-2004), \$ 220 millions sur budget public.

I-3-2. Le minerai exploité

Pour sa thèse sur l'uranium fin 1898 et années suivantes (elle sera soutenue en juin 1903), l'étudiante M. Curie avait contacté les laboratoires de géologie, son école mais aussi le musée, A. Lacroix, pour le prêt d'échantillons bien identifiés avec ou sans l'uranium, afin de mesurer leur radioactivité via son dispositif de mesure de l'ionisation provoquée de l'air.

Ensuite, elle et ce sujet, sont devenus populaires, et avec 2 prix Nobel (1903 physique, 1911 chimie). A. Lacroix déterminera la radioactivité des minéraux avec la méthodologie des Curies (Hogarth 2010, p. 333). Parmi les échantillons mesurés par Marie Curie figuraient l'uranocircite (\approx autunite) et de la monazite de Madagascar (Dorikens 1998, p. 204).

I-3-2-1. Terre d'urane, l'uranocircite

Sur l'île les premiers minéraux radioactifs ont été signalés en 1907-8 (apparemment par J.B. Rasamoel) au sein de sédiments fluvio-lacustres récents (sables-argiles très peu lithifiés et niveaux de matière organique, d'âge Plio-Pléistocène) 12 km au Sud d'Antsirabé. L'uranocircite est jaune canari et y est souvent distinguable à l'œil nu. En 1909 « ... *le gisement de Vinaninkaréna, exploité pour le radium par un certain Max Helson...* » (Ndong 2012, p. 278), via la *Société des Pierres et Métaux précieux de Madagascar*. Traités par tables vibrantes, le minerai pauvre à 0,8 % uranium monte à 7 % et 29 tonnes (par *bourjanes*) sont exportées en 1911. Le chef du laboratoire de chimie du Service de mines, A. Pétré, a recommandé un traitement chimique sur place qui n'a apparemment pas réussi. De plus cet uranium naturel n'est pas à ce qu'on appelle l'équilibre séculaire ([là](#) chap. II-1.) pour des questions de transport/précipitation différentiels, il est appauvri en radium. L'exploitation cesse en 1913 (Hogarth 2010, p. 336).

En 1920 c'est le le Syndicat Lyonnais de Madagascar qui a essayé de reprendre l'exploitation abandonnée de *Vinaninkaréna* (Ndong 2012, p. 278), avec traitement par flottation de l'uranocircite. « *Le Syndicat Lyonnais*

de Madagascar... serait arrivé à améliorer le rendement au tonnage de sa terre d'urane » écrivait *Le Journal des Finances* du 12 mai 1922 (là). Mais pour les mêmes raisons que précédemment, a) concentration difficile et b) déséquilibre U-Ra, le résultat n'a pas été convainquant. Au bout de 3 ans 6,7 tonnes de concentrés ont été envoyés en France, ce n'était pas rentable (Hogarth 2010, p. 336).

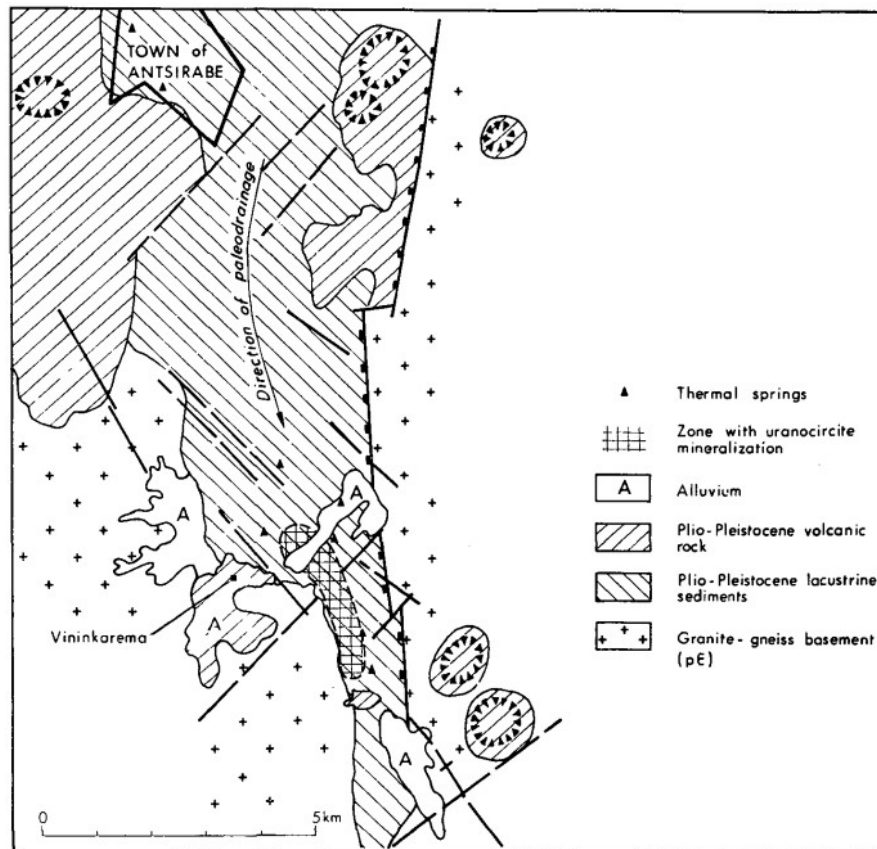


Fig. 9. Localisation des sédiments à uranocircite au Sud de Antsirabe dans un mini bassin d'effondrement contemporain du volcanisme de l'Ankaratra (in Premoli 1979, p. 56)

I-3-2-2. La betafite

La découverte de *Vinaninkaréna* avait stimulé les recherches car, "une tonne de minerai fournit quelques milligrammes de produit utile, mais la substance obtenue (bromure de radium) vaut actuellement près d'un million de francs le gramme." (Pinson 1924 p. 126).

▪ La betafite (localité type au village d'Ambolotara près de Betafo au Nord-Ouest d'Antsirabe où elle n'est pas spécialement abondante), a été envoyée par un directeur de mine à A. Lacroix en 1910, puis 11 kg en 1912 qui a permis des analyses chimiques complètes et a conduit à publication de sa définition comme nouveau minéral. Elle est donnée avec 22 % d'uranium. Et désormais elle va être reconnue dans de nombreuses pegmatites de l'île.

« La betafite attire bientôt l'attention des prospecteurs de radium. Les autrichiens ont été les premiers sur le terrain et vers 1913, Messieurs Porack et Sternlicht acquièrent des droits de prospection des endroits les plus favorables de l'île. Ils sont suivis des français Dreyfus, Florens, Girod et Moiret. En 1914 ces six hommes tiennent encore les prospectes les plus importants d'uranium. ». A cause de l'alliance Allemagne-Autriche les droits ne sont pas renouvelés aux autrichiens et deviennent réservés aux français (Hogarth 2010, p. 336).

« ... à Madagascar, la plus grande attention a été portée sur Ambatofotsy, près de Soavinandriana... C'est là que Dreyfus a ouvert sa mine. La pegmatite était de bonne taille (250 mètres de long et jusqu'à 60 mètres en vraie largeur...) et contenait des quantités appréciables de betafite. Dans une bande de trois à cinq mètres, il y avait de grosses poches de biotite dans laquelle étaient disséminés des cristaux centimétriques de betafite... C'était la zone payante pour Dreyfus (Lacroix 1922...), mais même ces poches **demandaient un dur travail manuel pour l'extraction du minerai et la séparation sur place des cristaux de betafite**. Arrivé en 1921, les hommes de Dreyfus avaient creusé une tranchée longue de 36 mètres dans la roche altérée. Puis

venait le coût élevé du transport, à savoir 350 francs par tonne (Curie 1925...). Cependant la récompense était grande : une tonne valant jusqu'à 15 000 francs sur le marché français (Lacroix 1922...) ... Il y avait d'autres sources de bétafite... Lacroix mentionne une mine à Amparitana, probablement dans la concession de Dreyfus, et, arrivé à 1921 trois tonnes de cristaux de bétafite avaient été accumulés. Une autre mine a été ouverte à Sama (vingt-cinq kilomètres Ouest de Ambatofotsy) sous la direction de E.H. Florens et a continué avec Monsieur Costes du Syndicat Lyonnais (Lacroix 1922...). Arrivé à 1921 la tranchée était longue de 60 mètres, 12 de large, et 7 à 8 mètres de profondeur. Il y a une photo dans le livre de Maurice Curie (Curie 1925...). » (Hogarth 2010, p. 338).

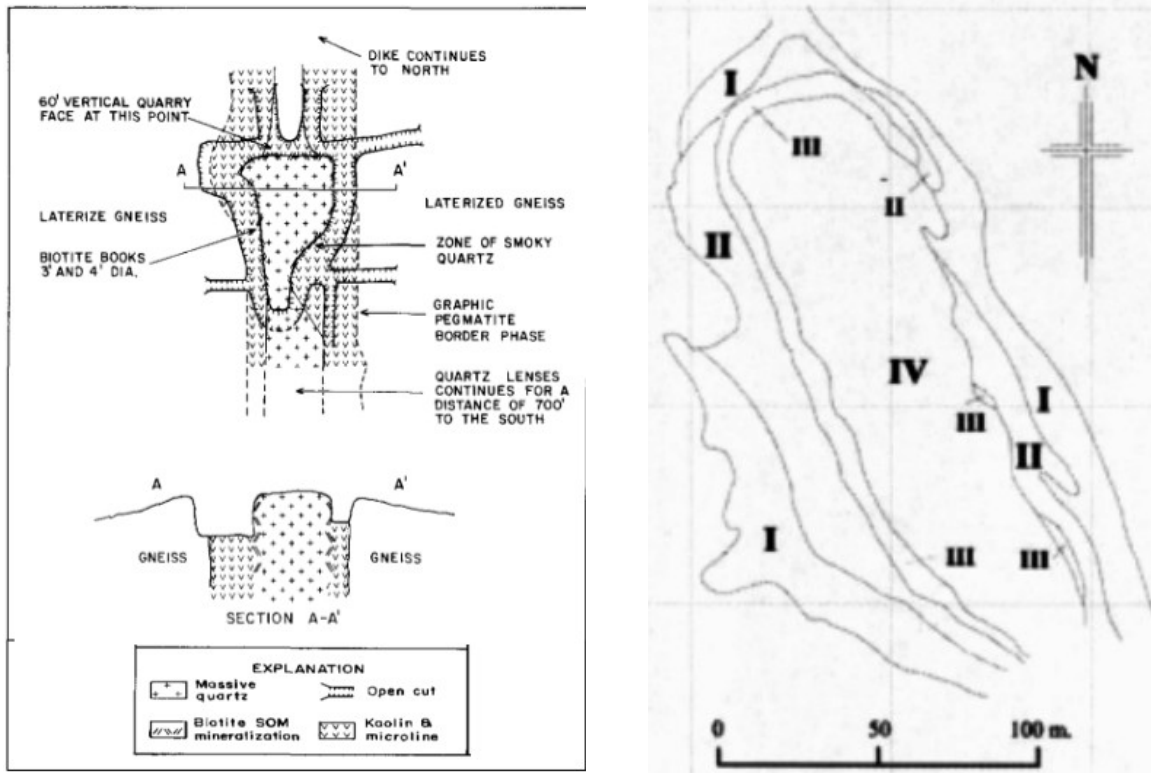


Fig. 10. Pegmatite de Ambatofotsy sur la crête d'une petite colline dans les environs du village Mahavelona, une 30aine de km à l'W -SW du lac Itasy.

A gauche, croquis de terrain à main levée avec les tranchées, lors d'une brève visite en 1943 du site abandonné depuis 1922. Une vingtaine de tonne de cristaux de bétafite en avaient été extraits (in Bourret 1988). A droite sa cartographie géologique de 1952 (reprise de Guigues) : le pendage est 30 à 45° vers l'Est concordant avec la foliation des gneiss à hornblende encaissants. I : aplites, II : granite graphitique, III tranche de microcline-oligoclase-biotite, la seule où se trouve la bétafite, IV quartz et perthite (cœur) (in Hogarth 2010, p. 339)

Bourret (1988, p. 188) mentionne que Jean Dreyfus "pour la Compagnie Lyonnaise de Madagascar" (via ? la CLM ?, ou la CLM a repris après ?) exploitait une autre grosse pegmatite du même type que celle de Ambatofotsy, sur flanc de colline, qu'il a visité et qu'il décrit, *Ambatohasana*. Celle-là a 2 lentilles de quartz parallèles, longues de 150 m, et a produit 20,5 tonnes de concentré de minerai dont 17 de bétafite, le reste essentiellement en euxénite. Le village Ambatoasana au Sud de la rivière Kisamby est 20 km plein Sud de Soavinandriana soit ~ 30 km au Sud du lac Itasy ou encore ~ 30 km au Sud-est de Ambatofotsy.

A Sama l'euxénite a aussi été séparée à la main et mise en tas séparés et aussi envoyée à l'usine de Saint-Denis. Mais là son contenu en thorium s'avérait gênant.

Parlant de la pegmatite Ambatofotsy (Fig. ...) « La pegmatite très altérée est **désagrégée au pic, les gros cristaux triés à la main, les petits extraits par lavage.** » (Lacroix, cité in Hogarth 2010 p. 332).

« Avec le retour de la paix... Marie Curie... De 1920 à 1926, période du pic de production des minerais d'oxyde de Madagascar, elle a publié 4 livres et 12 publications scientifiques. Dans ces derniers il y avait un rapport sur l'extraction du radium des composés naturels uranium-niobium-tantale-titane, donnant les

points essentiels du procédé employé dans le traitement des minerais complexes de Madagascar à l'Île Saint-Denis (Curie 1925)⁵.

⁵ à cette date le procédé avait été protégé sous brevet français attribué à Albert Laborde de SATCH en 1915... et 1916... » » (Hogarth 2010, p. 338).

« En France les cristaux de betafite étaient accumulés avec peu de fanfare, mais il n'en était pas de même en Madagascar, où les nouvelles se succédaient avec un enthousiasme débordant. Monsieur F. Bonnefond, le Directeur des mines, reportait que en 1921, l'île avec une production de vingt tonnes de betafite, pourrait assurer à la France deux grammes de bromure de radium par an et que le futur qui s'annonçait brillant garantissait bien d'autres prospecteurs... La betafite à 21 % d'uranium valait alors douze francs le kilo. Monsieur L. Joleaud, un délégué de la Sorbonne à la grande exposition de Madagascar, La Foire de Tananarive, a franchi une marche de plus : la France pouvait s'attendre à 3 ou 4 grammes de radium par an des minerais malgaches... L'exposition (ouverte le 15 sept. 1925) avait une section sur les minerais radioactifs, exposés de manière prééminente au premier étage d'un bâtiment construit spécialement pour faire publicité des ressources naturelles. Et la betafite, le centre d'attraction, était selon monsieur C. Dumas du Service des Mines (de Madagascar), quelque chose que tout prospecteur devait être capable d'identifier facilement avec de simples tests de terrain... » (Hogarth 2010, p. 339)

▪ « Cependant, le boum sur la betafite malgache a été de courte durée. D'immense et riches dépôts de pechblende ont été découverts en 1915 à Shinkolobwe au Congo et, à la fin de 1922, suit l'ouverture d'une raffinerie pour le radium à Olen, en Belgique. Le résultat est un effondrement du prix du radium... c'était le tocsin de la mort pour l'industrie malgache. Dreyfus a dévié son attention vers le graphite et a déplacé son bureau sur la côte Est de l'île. » (Hogarth 2010, p. 341).

- Shinkolobwe est dans la copperbelt du Katanga pas très loin de la frontière avec l'actuelle Zambie, alors Rhodésie du Nord, et 125 km au NW de la ville d'alors Elisabethville, actuel Lumbumbashi (le site est à mi chemin entre Kolvezi et Lumbumbashi). De gros volumes de minerai d'uraninite granulaire était naturellement très riches, > 50 % d'uranium, et sans thorium. « Les minéraux sont mis en sac à Shinkolobwe puis transportés par camion sur 20 kilomètre jusqu'au chemin de fer, qui l'emmène en Rhodésie et de là au port de Beira au Mozambique d'où il partait par bateau pour Anvers. » (Dorikens 1998, p. 222).

L'exploitation à Shinkolobwe a été arrêtée en 1936 mais avec une réserve extraite de 2000 t à 65 % U₃O₈. Le site a été remis secrètement en exploitation en 1943 pour les USA.

- L'usine *Metallurgie Hoboken-Overpelt*, MHO (Société générale métallurgique de Hoboken), en bonne partie filiale de l'Union Minière du haut Katanga, UMHK (devenu Umicore en 2001) à Sint-Jozef-Olen est à une quarantaine de kilomètres à l'Est-SE de Antwerpen/Anvers dans le Nord de la Belgique. Elle a fait extraction de radium de 1922 (sous la direction alors de P. Leemans) et jusqu'à 1969. Ramenant le prix du gramme de Radium à \$ 75 000, elle a contraint la plupart des concurrents à fermer la porte et produira à peu près la moitié du radium mondial. Le minerai joue un rôle important. Par ex. le traitement de une tonne d'autunite ne fournira que 2 mg de radium, pour la carnotite c'est 5 mg, alors que celui de une tonne de la pechblende de Shinkolobwe en fournira 50 à 100 mg (Dorikens 1998, p. 223). Le sulfate (plutôt que bromure qui est soluble) de radium pur à 97-98 %, poudre blanche qui émet une lumière bleu était alors vendu en tubes de verre scellés.

- Le seul producteur compétitif sera au Canada *Eldorado Gold Mining ltd* à Port Hope sur la rive du lac Ontario à partir de 1933, qui traitait de la pechblende contenant 30 à 60 % d'oxyde qui venait de l'autre bout du Canada, Port Radium, Northwest Territories, 5000 km (la *Northern transportation route*, bateau, péniche, train).

« 1926... A cette date, la Madagascar avait envoyé en France 103,6 tonnes de cristaux : betafite 87,5 tonnes ; euxenite + samarskite 11,5 tonnes ; et colombite impure 4,6 tonnes (4,5 tonnes en 1922-1923). On n'a pu trouver les statistiques sur le radium récupéré de ce minerai, mais des calculs grossiers suggèrent un potentiel de 7,4 grammes de radium, ou 5,9 grammes avec une récupération de 80%¹⁰, probablement envoyés dans des hôpitaux en France et en Pologne.

¹⁰ est assumé : 103,6 avec un taux de 20,9 % uranium ; 0,34 grammes de radium par tonne d'uranium élément (rapport de Curie et Curie 1926). » (Hogarth 2010, p. 341).

▪ « ... indices de pechblende signalés en 1924 dans les filons de pegmatite de la région de Malakialina par Mademoiselle Brière, alors minéralogiste au Service des Mines. » (Ndong 2012, p. 279).

I-3-3. Thorium et cérium

Les manchons lumineux pour becs de gaz de ville, inventés par l'autrichien Carl Auer von Welsbach en 1890, étaient faits d'une trame de coton imprégnée d'un mélange de 99 % de thorium et 1 % de cérium (un terre-rare). Plus anecdotique, la pierre à briquet, aussi inventée par Carl Auer von Welsbach en 1903, est faite

de 70 % de cérium, le plus abondant des lanthanides, et 30% de fer. Il y avait donc une demande en ces éléments. C.A. Von Welsbach avait créé l'usine de Atzgersdorf en banlieue de Vienne pour les manchons au thorium. Elle utilisait de la monazite du Brésil. Et une usine à Treibach-Althofen, Carinthie, Autriche du Sud fabriquait la pierre à briquet.

Il a été suivi, *"il existait en France une industrie des terres rares depuis le début du siècle pour la fabrication des pierres à briquet et d'additifs pour le verre afin d'obtenir des meilleurs indices de réfraction. On les utilisait aussi - et on les utilise toujours - comme colorants pour la porcelaine."* (Teissier 2007, p. 82).

A l'École Nationale Supérieure de Chimie de Paris, Georges Urbain, avec son élève Joseph Blumenfeld s'étaient spécialisés dans les terres rares. Ils ont créé la Société des Terres Rares, STR, en 1919 qui a installé à Serquigny en Normandie une usine de craquage de la monazite pour terres rares et thorium (cf. Annexe A-I-2.). Il y avait des échanges avec l'Institut du radium (M. Curie et G. Urbain d'abord puis I. Curie- F. Joliot et P. Grégory ensuite) les chimistes qu'ils conduisaient étant proches.

L'enthousiasme pour le radium a aussi touché le thorium. Dans les années 1920, la Auer Cie a aussi vendu du dentifrice au radiothorium [Th-228] : "Doramad radioaktive Zahncreme".

Par ailleurs, de 1928 à 1955 (c'est à cette dernière année que l'alerte a été lancée), la "médecine nucléaire" s'était mise à injecter par voie intraveineuse une solution à 20-25% de dioxyde de thorium stabilisée avec de la dextrine, le *Thorotrast* comme absorbant des rayons X pour voir les vaisseaux sanguins sur les radios. Plusieurs millions de personnes ont eu cette injection d'environ 25 ml dans leur vaisseaux sanguins. En effet, comparé à d'autres produits de l'époque, il n'y avait pas d'effet secondaire apparent, les patients ne se rendaient compte de rien.

Ces éléments thorium et cérium sont trouvés dans la monazite et le cérium dans la bastnaésite. A Madagascar cette dernière pouvait être trouvée dans quelques pegmatites des hauts-plateaux. La monazite, hormis celle en place dans des pegmatites mais surtout pour les cristaux de collection, a été exploitée à cette époque dans des placers de rivières de montagne. Le tonnage était de l'ordre de quelques tonnes/an pour la somme de ces deux minéraux (Pinson 1924, p. 126; Rasoamampianina 2006; Overstreet 1967 p. 34-7).

- A la fin des années 1930, colonisée depuis 40 ans, l'île gardait une aura d'eldorado:
« *Abondant, en 1937, la question des richesses minières de la Madagascar, la revue L'Illustration notait que « le sous-sol de Madagascar est particulièrement riche en substances minérales de toutes espèces, et la colonie est appelé à devenir un champs d'activité industrielle de premier ordre.* » (Ndong 2012, p. 278)

I-4. Aparté sur les hydrocarbures et... la France d'aujourd'hui

- La présence d'hydrocarbures est connue depuis toujours de certaines personnes à Madagascar parce qu'ils apparaissent à la surface à divers endroits de la partie Sud ("bitume" dans des joints des sédiments Sakamena) et de la partie Nord de la bordure intérieure du bassin de Morondava (présentation [géologie](#) paragraphe IV-2-1).

- Grès "bitumineux" de Bemolanga

Ils affleurent localement, sont plus ou moins noirs en fonction de la densité de bitume (1 à 9 % en poids d'hydrocarbures) une 20 aine de km au NE de Morafenobe (17°44S, 45°06'E), Fig. 11 . L'hydrocarbure se trouve sur une épaisseur d'une 20 aine de mètres dans les grès du groupe Isalo essentiellement d'âge Trias, à une profondeur variant de 0 à 100 mètres. La zone fait ~ 400 km² (quantité totale de "bitume" estimée à 2 milliards de barils). Le "bitume" est très visqueux sur toute la hauteur, et avec de l'eau (il peut couler un peu quand chauffé au soleil).

Ces grès sont semblables à ceux d'Athabasca au Canada. Dans les deux cas le terme « bitume » est trompeur. Il ne s'agit pas de résidu de distillation (pour sortir le jet-fuel, etc.) qu'on met sur nos trottoirs et nos routes, riches en aromatiques toxiques. C'est du pétrole qui a voyagé avec de l'eau à partir de la profondeur où il se forme (disons > 2500 m) venu jusqu'à ces sables. L'eau a entraîné ailleurs les hydrocarbures les plus légers. Et le niveau étant peu profond, il y a eu une activité biochimique microbienne anaérobie qui transformait ce pétrole sur place au fur et à mesure qu'il arrivait. Ce "bitume" là est du "pétrole pâteux" (par départ il y a longtemps de méthane et de CO₂).

Cette accumulation a été étudiée à une paire de reprises en vue d'une exploitation éventuelle. Il avait été conclu dans les années 1930 que les investissements nécessaires seraient élevés et le coût du produit (chauffage à cause de la viscosité, etc.) pas inférieur à celui de l'importation. Une ré-étude en 2009-2010 par Total et *Madagascar Oil* de Houston a de nouveau jugé à une non rentabilité économique.

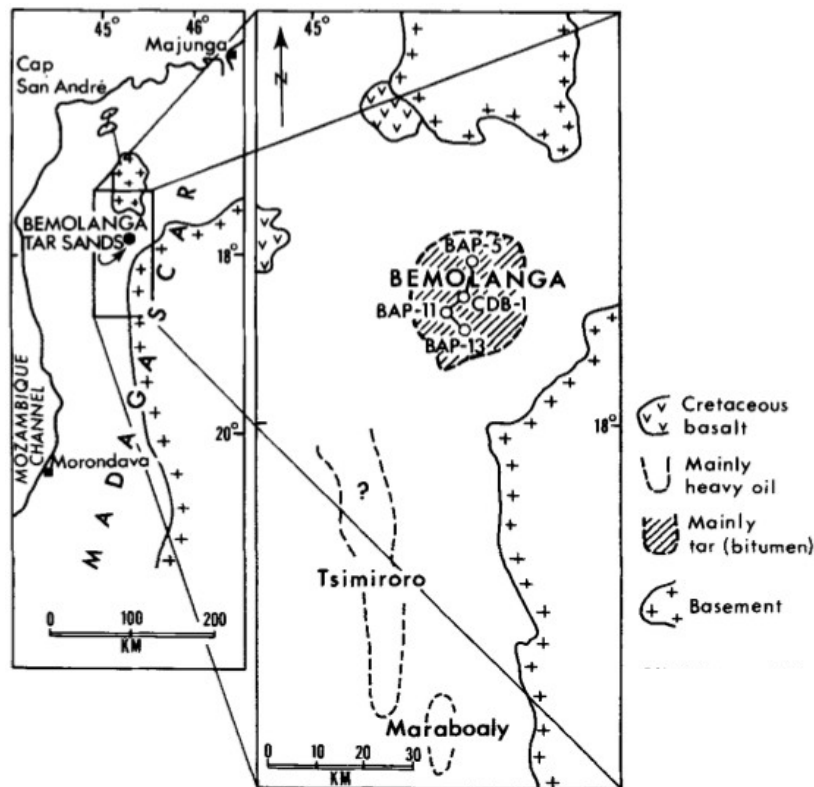


Fig. 11. Localisation des concentration d'hydrocarbures de Bemolanga et Tsimiroro entre le Cap Saint André et Morondava mais en bordure intérieure du bassin de Morondava (in Kamen-Kay 1983).

- "Huile lourde" de Tsimiroro

Une soixantaine de kilomètres plus au Sud, à Tsimiroro (Fig. 11.), dans les années 1930 la SERP, *Société d'Études de Recherches Pétrolières*, a croisé dans 5-6 forages entre 40 et 400 m des niveaux "d'huile lourde". C'est dans les grès Isalo II. Sa densité est 0,96-0,97 mais elle ne peut être extraite sans vapeur donc le même problème de difficulté/coût d'extraction que les grès de Bemolanga (ce qu'ils appellent "huile lourde" veut dire "huile qu'on ne peut pas extraire avec les techniques ordinaires"). Là aussi il y a eu biodégradation de l'hydrocarbure original. C'est de nouveau une accumulation de taille importante mais il n'y a pas de quantification fiable parce que les forages n'ont été faits que au Sud (4 milliards de barils en place, peut être beaucoup plus si ça continue vers le Nord).

- Après la guerre, de 1951 à 1960, la SERP devenue la *Société des Pétroles de Madagascar*, SPM, il y a eu de la géophysique et des forages profonds, quelques uns au-delà de 3000 m. La compréhension des structures donc le choix des lieux de forage étaient approximatifs (géométrie du bassin mal cernée, absence d'idées de pièges à chasser). La plupart des forages situés au dessus du bassin de Sakamena (géologie voir [là](#) § IV-2.1.) ont présentés des indices, bitume, pétrole, gaz mais rien de commercialisable (Radelli 1975). Un forage à Manera (22°55'S, 44°20'E) a par contre trouvé un épais aquifère d'eau artésienne entre 428 et 572 m (Murdoch 1963, p. 57).

- En 1987 deux forages réalisés par OMNIS (Office Militaire National pour les Industries Stratégiques)/Petro Canada International Assistance Corporation, PCIAC) ont trouvé du gaz dans la zone Manambolo-serinam dans le Nord du Menabe (une dizaine de km au Sud de la rivière Manambolo et même distance de la côte ; c'est au Sud de Tsimiroro, Fig. 12.). Il est à une profondeur de ~ 1700 m dans des alternances grès-silt-niveaux argileux du Crétacé supérieur. A la même époque Shell a aussi trouvé un peu de pétrole léger à Manandaza. La zone est donc maintenant vue comme potentiellement intéressante ce qui inclut la partie offshore du bassin de Morondava. L'heure est à de la géophysique et à des modélisations plus poussées.



Fig. 12. Accumulations d'hydrocarbures autour du couloir du Mozambique. Coté malgache à terre les sables "bitumineux" de Bemolanga (en face de l'île Juan de Nova), "l'huile lourde" de Tsimiroro, le gaz de Manambolo. L'offshore de Madagascar, dont l'élite française continue de s'approprier la moitié n'a pas été réellement inspecté (in Joignerez 2012)

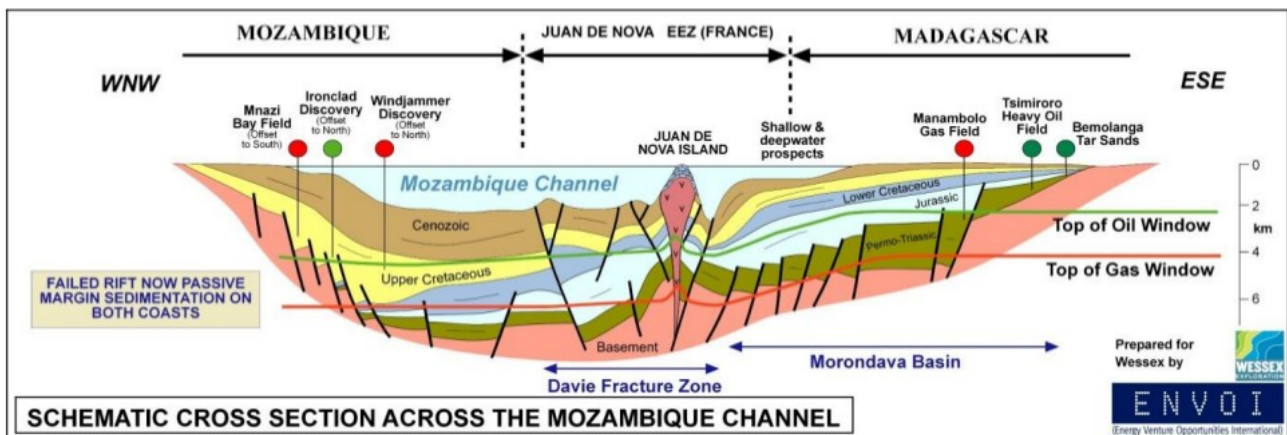


Fig. 13. L' îlot Juan de Nova est en bordure du bassin sédimentaire Morondava offshore. Deux mois avant l'indépendance malgache retrouvée, la France a exclu l'îlot du processus, se le gardant. On a toujours su la zone pouvant avoir éventuellement quelques hydrocarbures intéressants à cause des accumulation connues juste en face proches de la côte. Aujourd'hui l'autre versant, Mozambique, à la même histoire géologique est exploité pour gaz et pétrole. La France s'est créée une Zone Économique exclusive autour de l'îlot Juan de Nova alors que plusieurs fois depuis 1979, l'ONU a demandé qu'il soit restitué à la Madagascar (Fig. de Roberts et al. 2013)

● L'île de Juan de Nova est à 150 km des plages du Manabe donc à pas beaucoup plus des occurrences d'hydrocarbures décrites ci-dessus. Cette île avec quelques autres plus distantes au Sud et au Nord (l'ensemble étant dit *îles Éparses*) a été soustraite du processus deux mois avant la proclamation de l'indépendance si bien que (l'élite de) la France continue de se l'attribuer aujourd'hui (Rafinidarivo, [ici](#)). En 1976 cette France s'est permise de créer une zone économique exclusive, ZEE, au large de ces îles ce qui est censé lui donner des droits exclusifs d'exploitation sur 350 km autour de l'îlot Juan de Nova par exemple. Ça recouvre, évidemment, le ZEE de Madagascar. Il y a des milliers d'articles français quelque peu condescendant disant que la Madagascar est dans la pauvreté mais en parallèle on lui vole ce qu'elle peut avoir. L'armée française a rasé une bande de forêt pour installer une piste d'atterrissage sur cette îlot de 4,4 km² et y mettre un camp militaire.

Si Juan de Nova en elle-même est le sommet d'un édifice volcanique, celui-ci est posé au milieu des dépôts sédimentaires de la partie offshore du bassin de Morondava (Fig. 13).

Depuis, sur la côte Mozambique à 400 km en face, même histoire géologique, il y a eu des découvertes d'importants gisements de gaz. Toute la zone du canal du Mozambique est considérée comme pouvant peut-être receler des gisements d'hydrocarbures d'importance commerciale.

Total, et d'autres cibles pétrolières, est en train de racheter des droits et signe des contrats de partages de gaz/pétrole coté Ouest de l'île, et le long de la côte du Mozambique. L'élite malgache n'y verrait sûrement pas d'inconvénient du moment que la Madagascar en bénéficie. En l'occurrence c'est l'élite française qui n'en n'a pas fini avec sa politique coloniale. Elle se sert de l'ONU (attaque de la Libye pétrolière par ex.) qui lui a demandé à plusieurs reprises depuis 1979 de restituer la propriété de ces îles à la Madagascar, uniquement quand ça l'arrange.

II. La destruction des villes d'Hiroshima et de Nagasaki précipite l'impatience des scientifiques et politiques

II-1. De fortunes, comportements et activités diverses pendant la guerre à l'assemblage d'un CEA

II-1-1. Cadre historique de la découverte de la fission de l'uranium

▪ Depuis la compréhension du neutron par l'anglais J. Chadwick en 1932*, dans des officines de physique on bombardait des atomes-cibles avec ces neutrons par le moyen béryllium rudimentaire "fait maison" (surface centimétrique), "pour voir".

* prix Nobel de physique 1935; les Joliot-Curie venaient de produire le neutron mais l'ont interprété comme rayonnement gamma (Dorikens 1998, p. 233-36),

Notamment pour l'uranium ils s'attendaient à obtenir des atomes lourds encore inconnus (découverts au milieu des années 30 par le physicien italien Enrico Fermi à Rome, prix Nobel de physique 1938).

▪ Coté français Irène et Frédéric Curie/Joliot obtiennent le prix Nobel de chimie, et le prestige durable qui va avec, en 1935 « *en reconnaissance de leur synthèse de nouveaux éléments radioactifs* ». Ils venaient de montrer qu'en bombardant de l'aluminium avec du rayonnement alpha pur (d'une source polonium) ils avaient le radiophosphore de vie brève, et en bombardant du bore, le radioazote (période pas longue non plus). L'identification est faite en éprouvettes, il fallait faire vite. Cela se passe à l'Institut du radium à la fin du temps où il était encore dirigé par Marie Curie.

▪ Aux alentours de Noël 1938, une de ces équipes, allemande, les chimistes O. Hahn et F. Strassmann et la physicienne L. Meitner est surprise après avoir bombardé l'uranium avec des neutrons (lents, ralentis) de trouver du baryum par séparation chimique dans leurs produits.

Tous sont alors du *Kaiser Wilhelm Institute* de Berlin. O. Hahn et L. Meitner travaillaient ensemble depuis 30 ans mais Lise Meitner, autrichienne venait juste d'avoir à s'exiler en Suède. Elle a un neveu danois Otto. R. Frisch qui est à Copenhague.

Sur la base des connaissances du noyau déjà acquises à l'époque, sur modèle de "la goutte d'eau" du noyau de G. Gamow puis N. Bohr, Lise Meitner et O.R. Frisch argumentent qu'il y a eu fission de l'uranium en éléments plus légers et réinterprètent les explications problématiques des produits de la même expérience décrits jusqu'alors par d'autres aussi.

En raisonnant sur densité, rayon et charge, et la formule de Einstein, elle-il déduisent que cela doit libérer une grande quantité d'énergie, ~ 200 MeV (Meitner & Frisch, *Nature*, n°143, Feb 11 1939, [là](#)).

O. Hahn et F. Strassmann suggèrent dans *Die Naturwissenschaften* vo. 27, n° 6, 10 février 1939, p. 89-95 ([là](#)), que cela peut générer des neutrons secondaires et que si ceux-ci sont ralentis aussi cela pourrait continuer à d'autres fissions en chaîne.

A peine annoncé, dès janvier 1939 plusieurs autres laboratoires avaient vérifiés qu'il y avait bien fission, tout s'expliquait.

N. Bohr qui venait d'arriver aux USA, et E. Fermi, l'annoncent en entrée d'une conférence de physique théorique à Washington le 26 janvier 1939 [suite à la réception de son prix Nobel en 1938, E. Fermi avait décidé de ne pas regagner l'Italie fasciste, il arrive tout début 1939 avec sa famille aux USA où une chaire de physique lui est proposée à l'Université Columbia à New York].

La fission devient immédiatement le nouveau centre d'intérêt, à la Columbia Univ., à Paris, à Cambridge...

Il y avait beaucoup de travail à faire pour l'analyse ne soit-ce que des produits de fissions, sur de minuscules quantités, + et les neutrons secondaires ? + isotopes Uranium + émissions gamma, etc.

Le thorium était également étudié dans cette optique

▪ Ces laboratoires sont en compétition, ils s'observent. Ces scientifiques se connaissent, beaucoup s'écrivent. Et comme on le voit de ci-dessus, dès qu'une découverte est faite l'équipe se dépêche de publier pour prendre acte, quitte à écourter quelques nuits...

Pourtant en 1939 le physicien d'origine hongroise Léo Szilárd qui a quitté Berlin en 1933, qui est alors à la Columbia University à New York, au vue de la situation internationale, écrit à plusieurs de ces équipes/connaissances pour lancer l'idée d'un arrêt de publication sur les recherches nucléaires tant que le risque de découvrir un nouvel explosif ne serait pas écarté (Pinault 2000, p. 130).

▪ En France en mai 1939, Hans von Halban* Frédéric Joliot, Lew Kowarski** et Francis Perrin déposent trois brevets sur le principe de la production d'énergie nucléaire dont l'un, avec le sceau du secret, sur celui d'un explosif atomique (*infonucleaire* [là](#), [ici](#)).

* physicien autrichien, diplômé de Zurich, puis un an en 1937 avec O. Frisch chez Niels Bohr à Copenhague à la suite de quoi il est invité à rejoindre l'équipe du Collège de France. Est naturalisé français en 1939.

** né à St Petersburg, diplômé de l'École de chimie industrielle de Lyon, thèse avec Jean Perrin sur les cristaux, tout en travaillant à la société "Le tube d'acier" sur des circuits sous pression. Il a été recommandé par F. Perrin à F. Joliot pour ses dons d'expérimentation, à temps partiel, à l'institut Curie puis au Collège de France, avant d'obtenir une bourse du CNRS en 1937. Il est naturalisé français en 1939 apparemment comme pour H. Halban via R. Dautry sur demande de F. Joliot.

Ces brevets sont pris au nom du jeune CNRS.

Cette équipe, H.V. Halban, F. Joliot, L. Kowarski d'un coté (Collège de France), H.V. Halban et F. Adler d'un autre (Collège de France) continuait de soumettre à la revue *Nature* qui publiait : « *Number of neutrons liberated in the nuclear fission of uranium* » ([là](#), 7 avril 1939) puis, provocateur : « *Nuclear physics : control of the chain reaction involved in the fission of the uranium nucleus* » ([là](#), 13 mai 1939). Cela, révélera plus tard L. Kowarski, dans le but de « *convaincre le gouvernement français de faire accepter l'attribution de fonds supplémentaires* » (Pinault 2000, p. 135).

▪ La possibilité, "un jour", dans le principe, d'une bombe d'une puissance inédite n'était plus un secret chez les physiciens de l'atome. Mais plus seulement. Le physicien allemand Flügge l'expose en juin 1939, et dans une revue scientifique allemande et dans une revue grand public allemande (dans *Deutsche Allgemeine Zeitung*: «*Die Ausnutzung der Atomenergie. Vom Laboratoriumsversuch zur Uranmaschine*», L'utilisation de l'énergie atomique, de la recherche de laboratoire à la machine à uranium; [là](#)). J. Harrington écrit dans le *Scientific American* d'octobre 1939 « *On pourrait concevoir qu'une grande quantité d'isotope 235, soumise à un bombardement de neutrons puisse faire sauter tout Londres ou Paris* ». A. Troller dit à peu près la même chose dans la revue *La Nature*, n°3053 du 15 décembre 1939 : [ici](#).

Encore fallait-il y croire, et surtout les quantités nécessaires d'isotope fissile calculées alors étaient très importantes, centaine(s) de kilos, ce qui impliquait des installations énormes, coûteuses, etc. C'était une possibilité lointaine.

II-1-2. Les mouvements dans la guerre

▪ Un accord est signé en mai 1939 entre l'Union Minière du Haut Katanga, UMHK, qui avait déjà des liens historique avec Marie Curie, et le jeune CNRS pour le prêt de ~ 8 tonnes d'oxyde d'uranium. Elles sont au Collège de France le même mois. F. Joliot avait été élu à la chaire de chimie nucléaire du Collège de France en 1937. A l'arrivée de l'uranium des expériences tâtonnantes sur la libération des neutrons par une soupe d'uranium, essai de réaction en chaîne, commencent aussitôt. Il y a une activité mais rien de plus.

▪ L'eau est composée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène. D'hydrogène ou bien de son isotope naturel deutérium ^2H ou D, en très faible quantité (0,0115 % de l'hydrogène), qui avait été découvert en 1931. La société norvégienne d'Azote à Rjukan, centrale hydroélectrique en zone montagneuse 130 km à l'Ouest d'Oslo produisait de l'hydrogène (H_2) par hydrolyse pour faire de l'ammoniaque pour les explosifs et l'engrais. Elle s'était mise aussi par voie d'hydrolyse de faire ce nouveau produit qu'est l'eau lourde, i.e. avec du deutérium. L'hydrogène léger se dégage beaucoup plus rapidement à la cathode que le deutérium, et ainsi la concentration de l'électrolyte en D_2O augmente. Cette eau très coûteuse reste potable, sa densité est 10 % supérieure à celle de l'eau normale d'où son nom.

Comme l'hydrogène le deutérium est un ralentisseur de neutrons. Mais en 1937 H. Halban et O. Frisch au laboratoire de N. Bohr à Copenhague avaient remarqué qu'il les absorbe beaucoup moins, de fait 600 fois moins que l'hydrogène. Protons et neutrons aiment être par paire, ce qui est déjà le cas du deutérium, pas de l'hydrogène qui captera beaucoup plus volontiers un neutron.

L'équipe du Collège de France avait rejeté le graphite artificiel comme candidat pour ralentir les neutrons, trouvé trop absorbant (en réalité c'est parce qu'il n'était pas assez pur).

La guerre est déclarée. Raoul Dautry (Annexe A-II-2.) est nommé à l'armement par E. Daladier. F. Joliot le convainc de l'enjeu des recherches et veut qu'on demande tout le stock d'eau lourde d'alors, 185 kg qu'avait la société d'Azote de Rjukan, dans laquelle la banque de Paris et des Pays-Bas avait d'importants intérêts et une présence. C'est Jacques Allier de cette banque (selon Waltham 1998, il est lieutenant et du 2^e Bureau du service de renseignement) qui est chargé d'aller négocier l'obtention sous la forme d'un prêt par la Norvège. La mission réussit et ayant voyagé par avion via l'Écosse, ce stock est au Collège de France le 09 mars 1940.

Raoul Dautry dira le 11 août 1945 (Belbéoch 1995) :

« *Peu après le début de la guerre, le gouvernement dut demander à M. Joliot-Curie de pousser ses études [c'est totalement l'inverse...], moins vers l'utilisation des radioéléments pour la production d'énergie intéressant l'industrie du temps de paix (domaine où cependant, des perspectives extraordinaires pouvaient déjà être entrevues), que vers la mise au point d'un processus de libération brutale de l'énergie atomique avec des effets dépassant infiniment ceux des explosifs puissants. C'est à ce moment que j'eus à intervenir comme ministre de l'Armement pour mettre à la disposition de M. Joliot-Curie tous les moyens dont il pouvait avoir besoin.* »

- Arrive l'invasion foudroyante de la Wehrmacht.
- Le 16 juin 1940, H. Halban et L. Kowarski, fraîchement naturalisés et qui auraient eu des problèmes avec les nazis fuient Paris pour l'Angleterre. L'ambassade de Grande-Bretagne à Paris avait établi une liste d'une cinquantaine de scientifiques français qu'il serait souhaitable de récupérer. Avec d'autres scientifiques et des militaires de l'armement ils montent à bord du vapeur *Broompark* à partir de Bassens en Gironde à minuit le 17 juin. C'est le comte de Suffolk, détaché scientifique à l'ambassade d'Angleterre qui signe les autorisations de monter. Ils emmènent en sécurité le stock d'eau lourde (bidons en voiture jusqu'à Bordeaux) ainsi que leur famille. Frédéric Joliot et Léon Denivelle, qui étaient à Bordeaux, également invités à rejoindre l'Angleterre ont décliné l'offre (suivant les conseils de l'X-Mines J. Bichelonne selon Meybeck et Wahl 1993) (Kropfinger 1997, p. 68).

Le chimiste (minérale, thèse au laboratoire Marcel Guichard, univ. Paris, sur les sels d'étain, la formation de colloïdes; puis méthode de mesure précise de l'ozone) Jules Guéron chef de travaux à l'Université de Strasbourg (où était aussi Jacques Yvon) depuis 1938, débarque lui au contraire des USA où il était pour une mission pour la défense nationale (attaché scientifique mission d'achat des poudres). Ça tombe en pleine panique de juin et il rebrousse chemin suivant son beau frère E. Hirsch (directeur chimie chez Kuhlmann) pour l'Angleterre. Eux vont proposer leur service au gl. C. de Gaulle dont E. Hirsch est un des rares à avoir entendu l'appel du 18 juin à la radio.

H. Halban et L. Kowarski ont été très bien accueillis et, après avoir signé le *Official Secret Act*, ils sont embauchés par le "CNRS-anglais", le DSIR, par John Cockcroft qui les affecte au laboratoire Cavendish à Cambridge. Là, sous la direction de H. Halban ils referont l'expérience de la solution d'uranium avec l'eau lourde qui donnera des résultats meilleurs, visiblement sans plus.

Sur le plan politique, J. Guéron rapporte que H. Halban et L. Kowarski sont restés délibérément indépendants des Gaullistes, ce petit groupe de personnes derrière ce général fortement critiqué, à commencer par des intellectuels français dans Londres. Aussi : a) les gaullistes ne pourront jamais prétendre qu'ils avaient apporté l'eau lourde, qui d'ailleurs appartenait à la Suède, b) H. Halban et L. Kowarski n'avaient aucune raison (en plus de s'être engagé au secret) de ternir ce petit groupe gaullistes au courant de quoi que ce soit (Weart 1978).

- Un autre français, Bertrand Goldschmidt, professeur à l'Institut du Radium (embauché par Marie Curie en 1934 avant qu'elle ne décède), « *avait quitté la zone occupée en 1940. Restant sourd aux sirènes de ses directeurs de laboratoire André Debierne et Irène Joliot-Curie qui cherchaient à le faire revenir à Paris, il a accepté un poste à l'Université de Montpellier. Le régime l'en révoqua en décembre 1940 en application du statut des juifs du 3 octobre. La mère de Goldschmidt se trouvait déjà à New York en 1941.* » (Jennings 2020). Il a pu prendre à Marseille un bateau pour la Martinique début 1941. Comme à Madagascar et en Indochine les autorités de l'île étaient 100 % vichystes et au bout d'un mois il a réussi à passer sur l'île de Puerto Rico en passant d'un petit avion. Il arrive à New York fin mai 1941. Il travaillera un moment au service radio-isotopes d'un hôpital, passera dans une unité de séparation de radium... finalement contact est pris avec H. Halban début 1942 pour son transfert à Montréal. Mais, à sa surprise l'été 1942 il apprend qu'il est pris au *Metallurgical laboratory* dans l'équipe chimique de G. Seaborg qui travaille alors à pleine puissance sur l'extraction des uranium-plutonium. Peu de temps cependant, au niveau sécurité on se méfie trop des français et il ira rejoindre les autres à Montréal à l'automne 1942.

- En Belgique Edgar Sengier le Dir. de l'Union Minière du Haut Katanga, impressionné par les avertissements des scientifiques de l'atome, anglais puis aussitôt français, qui lui en achetait en 1939, décide de mettre son stock (la moitié ?) de minerai d'uranium de Sint-Jozef-Olen, 1200 tonnes, en bateaux, et direction un entrepôt de la compagnie à New York (Staten Island) début 1940. Lui même y part. Lorsque en 1942, les responsables du projet Manhattan viennent toquer à sa porte, ils sont surpris d'apprendre que 1200 t de minerai très haute teneur sont là à New York à attendre preneur et lui achètent cash... Ils achètent aussi un autre 3000 t qui est encore au Congo (atomicheritage, [là](#)). Il semble néanmoins qu'il y avait encore 1200 t de minerai à Olen,

qui a été saisi par les allemands (Atomicheritage.org, [là](#)). Le petit stock d'oxyde d'uranium prêté au Collège de France a pu être évacué au Maroc.

- D'Angleterre, avec une équipe scientifique gonflée, il y a des départs pour une zone éloignée des hostilités et proche des américains, à Montréal, mi 1942 puis 1943 (mi 1944 pour L. Kowarski fâché avec H. Halban) pour la poursuite des recherches atomiques. Cette équipe anglo-canadienne a une composante internationale, avec outre les français, le tchèque G. Placzek, le suisse S. Bauer, l'autrichien H. Paneth, etc. Elle fait diverses mesures physiques, reste séparée du Manhattan project (liens en accordéon suivant les moments, les américains passant de phases de confiance à phases de suspicion).

On a mentionné que le chimiste J. Guéron avait rejoint le clan gaulliste en juin 1940 avec son beau frère par alliance E. Hirsch. Là il a mis au point des procédés utilisables d'une façon pratique (produits anodins achetables) pour les saboteurs dans la résistance, exposés dans un petit manuel à distribuer. Connu dans le milieu scientifique par ses publications en chimie minérale il est appelé à Cambridge (via L. Kowarski ?). Lorsqu'il partira dans l'équipe pour Montréal, il sera le seul à demander et à avoir le statut administratif de "détaché de la France Libre" avec paie de cette dernière.

Dix-neuf scientifiques du projet top-secret anglais, nommé *Tube alloys* (créé en oct. 1941 au sein du DSIR), dont J. Chadwick, entraient eux dans le Manhattan project à Los Alamos.

A la fin, le contexte international n'étant plus le même, les alliés se sont mis d'accord pour que soit construit un réacteur à eau lourde au Canada à Chalk River (150 km vol d'oiseau au NW de Ottawa et sur le fleuve Ottawa) sur le type de la pile US eau lourde CP-3 désignée par Walter Zinn à Argonne au SW de Chicago, qui avait divergé en avril 1944 (6,5 tonnes d'eau lourde produites par Du Pont). C'est L. Kowarski, qui vient tardivement à Montréal en 1944 qui en est co-directeur. Nommé ZEEP, *Zero Energy Experimental Pile*, il divergera en sept. 1945, le premier en dehors des USA.

II-1-3. Frédéric Joliot à Paris

- R. Dautry ne quitte pas la France. Il n'aura pas de poste dans l'État de Vichy mais il a repris ses activités de Conseils d'Administration (Cie internationale des Wagons-lits, Société générale des chemins de fer économique et d'autres).

- Par contre son Directeur de cabinet l'ingénieur en chef des mines sorti majeur de l'X Jean Bichelonne qui a occupé plusieurs hautes fonctions dans la sidérurgie et les chemins de fer va occuper les plus hauts postes du régime vichyste. Il est membre de la délégation française de la Commission d'armistice de Wiesbaden. Il est Secrétaire général au ministère de la production industrielle sous R. Belin puis sous P. Pucheu puis sous Lehideux, s'occupe de la répartition des matières premières industrielles. Pierre Laval le nomme Secrétaire d'État à la production industrielle en avril 1942, il obtient le titre de ministre. Grand adepte de la collaboration économique il voyait souvent Carl Oberg et il a rencontré l'ingénieur Fritz Todt et Albert Speer. Il participe activement à la mise en place du STO qui va concerner 640 000 jeunes français, envoyés travailler en Allemagne, ayant ajouté à ses fonctions le portefeuille du travail et des transports en 1943, sans lâcher l'industrie. Il part avec les nazis en août 1944 et décédera là-bas des suites d'une opération du genou broyé dans un accident de voiture.

- Frédéric et Irène Joliot-Curie de par le milieu où ils baignaient avant la défaite étaient peu susceptibles de sympathie pour le nazisme. Cet environnement était celui du physicien Paul Langevin, élève de Pierre Curie, un moment ami intime de la veuve Marie Curie, professeur au Collège de France, qui a patronné le *Comité de vigilance des intellectuels antifasciste*. P. Langevin a alors 69 ans, il est mis en résidence surveillée à Troyes (son gendre communiste sera fusillé et sa fille déportée).

Irène a été Secrétaire à la Recherche Scientifique du Front Populaire.

Le couple reste en France (peut-être passer sous l'autorité de leur rival J. Chadwick était une perspective peu attirante). Irène est d'abord en zone Sud avec les enfants mais elle va être malade, début de tuberculose, et ira plusieurs fois en maisons de repos, où elle lit revues et travaille, y compris en Suisse. Les enfants seront alors avec Frédéric.

Pendant 4 ans F. Joliot va avoir des scientifiques allemands dans son laboratoire au Collège de France. Y viennent aussi des hauts-fonctionnaires et industriels français.

Y ont travaillé temporairement ou sont passés, le prof. Erich Schumann, qui à un moment donné dirigeait la recherche allemande sur l'uranium, le Dr. Kurt Diebner, physicien nucléaire, le prof. Walter Bothe, excellent expérimentateur en physique atomique, impliqué dans la construction du cyclotron allemand, les Dr. Abraham Essau, Dr. Wolfgang Gertner, Dr. Erich Bagge, Dr. Wermer Maurer.

Des scientifiques allemands apportaient des compétences en électronique qui faisaient défaut, apparemment pour la construction du cyclotron au sous-sol du Collège de France.

F. Joliot va être l'un des rares scientifiques français à maintenir des échanges scientifiques avec ses collègues atomistes d'outre-Rhin. Vis à vis du nazisme il avait au laboratoire son "ange gardien", Wolfgang Gentner (Chevassus 2004). Ce dernier qui n'était pas un nazi avait fait un stage en 1939 à Berkeley avec E.O.

Lawrence. Il est rappelé en Allemagne fin 1942, où il va lui aussi avoir son cyclotron à Heidelberg, financé par la *Heereswaffenamt*, le bureau d'ordonnance militaire, en 1943, un an après celui de Joliot.

En nov. 1943, F. Joliot reçoit le théoricien allemand Carl-Friedrich von Weizsäckers du *Kaiser Wilhelm Institut für Physik*, KWIP, là où a été découverte la fission de l'uranium (il avait travaillé avec Lise Meitner, connaissait bien N. Bohr). C'est un des participants à l'*uranverien* sous contrôle militaire (Chevassus 2004).

F. Joliot continue insouciant des recherches atomiques, dont celles sur la fission de l'uranium par des neutrons émis par une cible exposée aux deutons de son cyclotron qui a démarré en 1942 (que Walther Bothe de Heidelberg est venu visiter). Et F. Joliot publie 3 fois (dont 2 sur la fission de l'uranium) aux *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences* et au *Journal de physique* au printemps de 1944.

Sans qu'il s'en doute il était scientifiquement en retard, déjà sur les allemands, et immensément sur les américano-anglais.

▪ F. Joliot « a créé un syndicat avec des industriels, le SEDARS, dans le but de construire deux nouveaux cyclotrons, de taille très supérieure au sien, pour la fabrication industrielle de radioéléments artificiels, et il a tenu plusieurs conférences scientifiques sur le cyclotron, les neutrons, les radioéléments artificiels. Il envisage aussi la mise en œuvre de la séparation isotopique pour produire l'uranium purifié et enrichi en ^{235}U ⁽¹⁰⁾. »

« ⁽¹⁰⁾ : Lettre de F. Joliot à Jean Bichelonne, secrétaire d'État à la Production industrielle, le 27 août 1944 (Arch. Curie et Joliot-Curie) ; Conférence sur les « Les générateurs de projectiles transmutants », Palais de la Découverte, le 19 février 1944... » (Pinault 1997, p. 9).

Le SEDARS, *Syndicat d'Étude et de Développement des Applications de Radioéléments Synthétiques*, a été créé en 1943 par F. Joliot avec des industriels proches de Vichy, projet soutenu par J. Bichelonne et Le Roy Ladurie (Pinault 2000, p. XIII). Pour cela F. Joliot fait des conférences, a des RDV avec les industriels et certains officiels de Vichy, et rencontre même le chimiste Eugène Schueller, fondateur de l'Oréal et financier occulte de *La Cagoule* (Chevassus 2004). F. Joliot se fait aussi élire à l'Académie des Sciences.

Pinault (2000, p. 225-30) écrit :

« Ses liens anciens avec Paul Grégory, directeur de la Société des Terres Rares [cf. Annexe A-I-2.], et plus récents avec Raoul de Vitry, dirigeant de Pechiney (Alais, Frogès et Camargue), tous deux issus de l'École polytechnique et de l'école des mines, constituent le premier cercle de ces relations. (...) La formation d'ingénieur de Joliot rend plus naturel sans doute qu'à des chercheurs issus de l'ENS ou de la Sorbonne l'établissement de tels liens. (...) C'est ainsi que les liens de Joliot avec Georges Boreau, Gerhard Lehman, Noël Félici dans le domaine de l'électricité, ou bien avec Léon Blumenfeld, Paul Grégory et Léon Denivelle dans la chimie, prennent toute leur signification.

Léon Denivelle, administrateur, comme Blumenfeld, de Thann et Mulhouse, rapporte que « pendant la guerre, il s'est créé un groupe de gens, amis de Joliot et décidés à l'aider – je crois que l'idée a été apportée par M. Grégory et M. Blumenfeld -, parce qu'il ne recevait plus de crédits, à lui apporter des crédits ou un ou deux collaborateurs, ce qui a été fait, qui seraient payés par ce groupe là ». De ce groupe, Denivelle cite le président de Saint-Gobain, le baron Hély d'Oissel, et de Vitry, pour Pechiney, Berr, directeur de Khülmann avant la guerre mais touché par les mesures antijuives, et Hyppolite Worms. (...)

Les relations de Joliot avec ces industriels reprennent leur essor, dès le début de 1941, à travers une collaboration avec les Terres Rares qui portent d'abord sur des produits du domaine de la radioactivité, le mésothorium et le thorium, et semble surtout à sens unique, du fournisseur vers l'utilisateur. A l'été 1941, elle s'élargit à l'exploitation industrielle du procédé de polymérisation par irradiation inventé par Joliot. Le contrat avec la STR, une simple lettre de Grégory que Joliot lui retourne avec sa signature, a été précédé de rencontres avec Vitry et la société AFC et ne prévoit aucune rémunération de l'inventeur. Le même contrat avec la STR prévoit d'élargir la coopération ainsi mise en route. Joliot songe en effet aux applications industrielles du cyclotron et la nécessité d'en construire au moins un nouveau... C'est ainsi que le SEDARS est créé en 1943 avec des objectifs industriels clairement affichés... délibération du conseil d'administration de la STR, le 23 décembre 1943, qui décide une « prise d'une participation de 150 000 francs » dans le SEDARS... (...) Il est géré par Le Roy Ladurie, Grégory et Denivelle. Une dizaine de sociétés ayant à voir avec les technologies impliquées dans le fonctionnement du cyclotron y apportent une participation, en tête

desquelles la banque Worms. Elles sont représentées par leurs dirigeants. Outre ceux dont Denivelle se souvient, ont trouvé Jacques Barnaud, Robert Gibrat, François Lehideux, c'est-à-dire les représentants les plus connus du monde Worms, des « synarques » liés à Vichy. Outre que Vitry dirige le comité d'organisation pour l'aluminium, Lehideux celui de l'automobile, pour citer ces deux exemples, montre bien l'importance qu'on accorde à ces personnages dans le monde industriel. C'est le monde des « trusts » tels qu'on le décrivait en 1939. (...)

Parmi les personnalités situées au carrefour des réseaux Worms, Polytechnique, Vichy et Dautry que Joliot rencontre, il y a Jean Bichelonne, ancien directeur de la banque Worms et ancien chef de cabinet de Dautry. Après avoir été un des principaux responsables à la commission d'Armistice, il est désormais, aux postes de secrétaire d'État à la production industrielle et aux Communications, un proche de Laval, totalement engagé dans la collaboration. C'est à ce titre qu'il écrit à Joliot, le 25 août 1943. On comprend qu'ils se sont rencontrés récemment. Bichelonne invite Joliot, de façon pressante, à « reprendre immédiatement (ses) études sur la désintégration atomique, notamment par la recherche de la concentration de l'uranium 238 (sic) dans l'uranium naturel ». Cela revient à l'inviter à reprendre des expériences « relatives à la production de réactions en chaîne explosive de l'uranium en vue de la construction de centrales thermiques », comme il l'explique dans sa réponse. (...) Joliot commence sa réponse à Bichelonne par une mise au point en insistant sur le fait que les recherches que mènent les Allemands à Paris [chez lui] « concernent principalement la technique du cyclotron et la radioactivité artificielle » et n'ont aucun rapport direct avec la guerre : « Ils savent, ajout-il, que je me refuserai à toute participation à l'effort scientifique de guerre allemand. D'ailleurs aucune proposition de travail de ce genre ne m'a été faite jusqu'ici. ». Puis Joliot donne une réponse négative à la demande principale de Bichelonne : « Je crois qu'il serait pratiquement impossible, est surtout inopportun, de reprendre nos anciennes expériences et je ne le désirerais pas. » (fin de citation, Pinault 2000)

[pour complément biographies de personnes citées ci-dessus, L. Denivelle, R. Gibrat, R. de Vitry/Pechiney, Pierre Hély d'Oissel/Saint Gobain, voir annexe A-II.]

▪ Mais en même temps Frédéric Joliot fréquente le Front National Universitaire, FNU, où sont actifs des scientifiques qu'il connaissait. Pierre Villon (architecte), évadé, avec le psychologue René Zazzo, à plein temps re-organisaient les groupes du Front National dans les établissements de l'enseignement supérieur. C'est P. Villon qui cherchait un "nom" rassembleur qui est venu demander au Prix Nobel d'être président (Pinault 2000, p. 239). On voit F. Joliot avec les officiels du régime mais cela montrait que le FNU rassemblait large (y entre aussi Georges Bidault par ex.). Il fallait néanmoins être au moins sympathisant communiste pour le titre de Président.

Il n'est pas clair quand F. Joliot a adhéré au PC, lui-même est resté vague, fin 1942 ? printemps 1944 ?, il a très certainement en ces circonstances exceptionnelles de guerre été marqué par P. Villon; le physicien Paul Langevin, adhère au PC à l'automne 1944 à 72 ans lorsqu'il peut revenir au Collège de France.

Les alliés sont en Afrique du Nord en novembre 1942, et en février 1943, les soviétiques reprennent Stalingrad en faisant prisonnières des armées d'élites du Reich. Être du FNU, une pépinière d'intellectuels qui n'existait pas avant la guerre, dont le mot d'ordre vague était "défense spirituelle du pays", était un choix gagnant puisque en mai 1943 le FNU est co-fondateur du Conseil National de la Résistance, voulu par le gl. C. de Gaulle, qui va avoir un rôle politique. Le FNU n'a pas eu de position centrale sur la lutte armée.

Il y a une petite activité *résistante* des plus discrète (il y a des *collègues* allemands) de quelques rares personnes au sein du Collège de France (limitées à des faux papiers et un ou quelques postes émetteurs) qui augmentera comme partout avec l'approche des américains. F. Joliot le savait mais participait peu (Pinault 2000, p. 245-6).

▪ Ainsi Frédéric Joliot mène une double vie en virtuose du langage multiple. « *Certainement indispensable dans chacun de ces mondes, il se croit peut-être intouchable.* » (Chevassus 2004).

Avis du chimiste Jules Guéron à ce propos : « [Weart] *Et puis là-bas il y avait le Front National - [Guéron] Vous voyez, et à cette époque, que voulez-t-il dire par indépendance française, de l'Allemagne ou de la Grande Bretagne ? ... Je vous ai dit ce que je pensais. Pour être très méchant, je pense que Joliot était un arriviste qui a misé sur le mauvais cheval [du point de vue de l'atome, i.e. avoir choisi de rester en France]. D'un autre côté, comme je vous l'ai dit, il a été pris dans l'atmosphère psychologique du parti, comme une fraternité, vous voyez, Quelques chose comme le Lions ou le Phi Beta Kappa....* » (Weart 1978 ; Φ Beta Kappa : société anglo-saxonne très sélective à laquelle les étudiant-e-s les mieux noté-e-s peuvent postuler).

II-1-4. Le moment de la libération

Quelques mois après ses publications de l'intérieur du régime de Vichy sur la fission de l'uranium au printemps 1944, voilà F. Joliot grâce à sa participation au Front National Universitaire, FNU, le 20 août 1944 en pleine insurrection parisienne chargé par ses contacts de la direction du CNRS.

Le CNRS a été créé le 19/10/1939. Le 08/08/1940 Vichy nomme à sa direction quelqu'un compatible avec la collaboration (mais non collaborateur en lui-même), le géologue Charles Jacob qui reste pendant toute l'occupation.

Les américains s'approchant à grand pas de Paris, le Comité Parisien de Libération (CPL), PCF lance l'insurrection le 19 août 1944 et le FNU prend possession des locaux du Ministère de l'Éducation Nationale. Henri Wallon (psychologue de l'enfance à la Sorbonne, qui a adhéré au PC en 1942) est désigné Secrétaire d'État à l'Éducation Nationale, qui signe immédiatement pour des nouvelles têtes, le prix Nobel Frédéric Joliot connu au FNU étant pris pour le CNRS.

Le 09 sept. le gl. C. De Gaulle nomme un Gouvernement Provisoire avec le juriste gaulliste René Capitan à l'Éducation qui maintient la nomination de F. Joliot à la tête du CNRS.

On remarque, sur la question coloniale, lors de la réunion du Comité directeur du CNRS du 18 sept 1944, ce nouveau directeur du CNRS qui jusque là avait fait le choix de rester dans son laboratoire parisien :

« ... la mission que j'ai eu à Londres il y a une semaine, parce que la guerre continue. Nous avons à nous préoccuper de participer à la continuation de la guerre... si nous ne participions pas à la continuation de la guerre ce serait très grave. D'une part au point de vue militaire nous avons la guerre contre le Japon qui va peut-être durer; **nous avons l'Indochine, nous avons à être présents là-bas.** » (Blay 2011)

A ce moment l'Indochine est vichyste gouvernée par l'amiral Decoux nommé par Pétain/Darlan en juil. 1940 (30 000 français de souche en présence temporaire dont 59 % sont des militaires qui sont surtout là pour maintenir un *ordre intérieur*, au milieu de 28 millions d'indochinois-e-s traité-e-s chez eux/elles en *indigènes*). Elle collabore avec le Japon impérial, les deux armées se côtoient (jusqu'au coup japonais du 09 mars 1945 où l'armée vichyste en nombre d'hommes égal aux soldats japonais se rendra en quelques jours) celle japonaise utilisant les aéroports depuis sept. 1940 contre les alliés. Le CFLN à Alger a indiqué en décembre 1943 qu'il voulait rétablir la France pleinement en Indochine. Mais Franklin Roosevelt est là, jusqu'en avril 1945. Avec J. Staline et Tchiang Kai-chek, au Caire et à Téhéran en nov.-dec. 1943, ils ont prévu que l'Indochine ne resterait pas une colonie, qu'elle passerait sous tutelle internationale pour un passage en douceur vers l'indépendance.

▪ Dès le 25 août 1944 des américains viennent voir F. Joliot à son laboratoire du Collège de France. C'est la mission *Alsos* dont le but sera de saisir au plus vite matériel et scientifiques allemands de l'atome. Entre cette date et le 11 octobre 1944, il sera interrogé à 6 reprises.

A Londres où il est invité la première semaine de septembre, en présence de J. Chadwick, on lui demande de nouveau ce qu'il sait sur les connaissances atomiques des allemands. L'Allemagne n'est pas vaincue encore et les USA ignorent si le projet Manhattan, totalement secret, réussira rapidement. Dans un premier temps F. Joliot se trompe lourdement, il se croit courtisé (Pinault 1997, p. 11). Mais il y a vite un malaise. Ses propositions spontanées, naïves pour qui sait, d'une poursuite commune sur l'atome se réfléchissent sur un mur du silence. Coté alliés des physiciens défendent sa franchise mais les services de renseignements américains, et le Gl L. Groves derrière, sont soupçonneux : soit il ne coopère pas, soit lui qui vient d'être en relation pendant 4 ans avec les physiciens atomistes allemands ignore tout de ce qu'ils faisaient en Allemagne (où plusieurs types de petites *piles*, bien qu'elles n'aient pas divergé, c'était pas loin pour l'une, ont été construits).

Pierre Auger, spécialiste des particules cosmiques à la Faculté de Paris, menacé par l'occupant parce que connu avant-guerre comme antifasciste avait pu partir en oct. 1941 grâce au dévouement de l'infatigable Louis Rapkine. Il avait été pris par A.H. Compton à Chicago dans la recherche des particules cosmiques, avant d'être demandé par H. Halban pour l'équipe Montréal en 1943-44. Lui moins spécialiste de la chose est revenu d'Angleterre en France en Août 1944. Par ces personnes F. Joliot apprend qualitativement petit à petit que les choses ont terriblement progressé, ce qui le stimule, dans le brouillard, en même temps qu'il commence à penser, frustré, que ses rivaux scientifiques de l'avant guerre J. Chadwick et al. ne veulent rien partager de leurs nouvelles connaissances avec la puissance vaincue en 1940. Par Louis Rapkine qui avait des contact avec J. Guéron et B. Goldschmidt et L. Kowarski restés au Canada, lui sans obligation de silence, F. Joliot obtient une idée floue du programme américain.

Louis Rapkine est un biochimiste d'origine russe. Il a rejoint Londres en juin 1940, puis New York, où il s'est consacré à plein temps à aider les scientifiques renommés dans leur domaine menacés par le 3è Reich. Au départ c'est grâce à l'appui de la Foundation Rockefeller dont lui-même avait été boursier, puis grâce à des dons. A

partir de 1942 il a réussi à obtenir du gl. C. de Gaulle la constitution d'un *Bureau scientifique au sein de la délégation de la France libre* aux USA, dont il est chargé de la gestion. Petit à petit, tardivement vers fin 1943 début 1944 une fois formellement organisé et la situation politico-militaire commençant à se décanter, pratiquement tous les scientifiques qui étaient venus de France de différentes manières finiront par y adhérer, y compris B. Goldschmidt, L. Kowarski et H.V. Halban salariés des anglais (Weart 1978, p. 31).

Ne pouvant pas vraiment comprendre la situation « *sans doute vers le mois de novembre 1944, Joliot se convainc que la meilleure manière de faire reconnaître par les Alliés le droit des français de participer à l'entreprise commune, est d'entreprendre le retour de la France, par elle-même, dans la recherche nucléaire. Il fixe alors une nouvelle ligne de conduite, non exclusive de la recherche d'un accord, qui consiste à tenter le pari d'une aventure solitaire de la France, ne comptant que sur ses atouts, pour bâtir un projet nucléaire.* » (Pinault 1997, p. 6-13).

Or il est Directeur du CNRS. Il rencontre longuement le gl. C. de Gaulle en novembre.

H. V. Halban passe à Paris et rencontre F. Joliot fin nov. 1944 (ce que ne lui pardonnera pas le gl. L. Groves qui lui retire toute responsabilité et l'astreint à ne pas quitter l'Amérique pendant un an ; de plus H.V. Halban ne sera pas ré-intégré au Collège de France comme il s'y attendait; L. Kowarski et J. Guéron, lui reprochent d'avoir joué personnel aussi bien professionnellement qu'en vie privée lorsqu'il dirigeait en Angleterre et au Canada; ils avaient fait savoir qu'ils refuseraient de faire équipe avec lui ; Weart 1978, Pinault 1997, p. 29, Pinault 2000 p. 289).

l'X R. Dautry réapparaît à la lumière, nommé ministre de la reconstruction.

En mai 1945, la guerre terminée, F. Joliot, et Pierre Auger qui a été nommé Directeur de l'enseignement supérieur, ont une rencontre avec le gl. C. de Gaulle lors de laquelle ils ont parlé d'une organisation spécifique aux recherches atomiques. Déjà le général avait été briefé sur ce sujet par Jules Guéron Pierre Auger et Bertrand Goldschmidt lors de son passage à Ottawa le 11 juillet 1944 (cf. § II-2-2-1.). Maintenant les trois hommes pensent à un institut indépendant, et du CNRS, et de l'Éducation Nationale, et le général les charge de s'occuper de cette affaire. Eux en plus « *avons l'intention de créer un organisme dans lequel il n'y aurait pas de contrôleur des dépenses engagées* » (P. Auger, in Pinault 1997, p. 30). Sur le plan administratif le nom du commis d'État R. Dautry convient aux trois (Joliot-Auger-de Gaulle)

Il n'y a alors pas d'urgence ni priorité, « *Dautry relève donc de dispositions pratiques limitées, comme d'assurer la satisfaction des besoins du Collège de France, en particulier le cyclotron... d'entreprendre des **prospection minières systématiques en France et dans les colonies.*** » (Pinault 1997, p. 31).

On citera plus loin que cette demande de minerai, notamment à Madagascar, est une demande expresse de ces scientifiques de l'atome. En attendant ils ont les 8 tonnes d'oxyde d'uranium prêtées par la UMHK qu'ils font revenir du Maroc et « *un wagon d'uranate impur retrouvé en gare du Havre où il a passé toute la guerre considéré comme un colorant sans valeur, soit l'équivalent d'environ trois tonnes d'oxyde* » (Ndong 2012, p. 275). Mais c'est bien trop peu pour eux, d'autant que nouvelle donne, un nouvel arrivage du Congo-colonial-belge est désormais bloqué par les États-Unis qui ont pris des dispositions pour se réserver la totalité de la production.

II-1-5. Réactions scientifiques et administrative à la nouvelle de l'efficacité de la bombe

A ce moment, le 06, puis encore de nouveau le 09, août 1945, à la surprise générale, deux villes japonaises importantes sont anéanties en un instant, 76 000 êtres humains essentiellement des civils de tous ages et conditions, supprimés sur le coup, au bout d'un an le chiffre sera monté à 200 000, via une bombe atomique chacune par les américains sous la présidence démocrate désormais de Harry Truman ([là](#) et [là](#)).

Le 08 août 1945 on lit dans le nouveau journal *Le Monde* (qui a succédé sur les presses, et une partie des journalistes, du journal *Le Temps* terni par une certaine entente avec Vichy entre juin 1940 et nov. 1942) :

« *Une révolution scientifique : les américains lancent leur première bombe atomique sur le Japon* ».

France Soir enchaînait le 09 août :

« *L'emploi de la bombe atomique ouvre des horizons illimités.* »

Au lendemain de Nagasaki, *l'Humanité* publia un article de Frédéric Joliot qui soulignait l'apport de la France à l'étude des réactions en chaîne.

« *Joliot reçoit à l'Arcouest [sa maison en Bretagne] le texte de la déclaration rédigée par Auger et Magat au nom du CNRS [datée du 07 août], dont l'objectif essentiel est de revendiquer l'antériorité et la place de la France et de ses savant dans les recherches qui ont aboutit à **la réussite célébrée par les journaux.** Joliot donne son accord à ce texte qui rejoint largement une note plus détaillée qu'il avait rédigée pour sa*

publication dans *L'Humanité* du 10 août 1945. Il y met l'accent sur deux points : d'une part, « c'est en France que les premiers principes de réalisation ont été trouvés », d'autre part, « **l'énergie nucléaire rendra aux hommes, dans la paix, des services inestimables** ». (...) l'évocation par Joliot de « sentiments », qu'il ne précise pas, équivaut à une réserve prudente mais ne constitue pas une condamnation de l'utilisation de la bombe atomique dans la guerre. On chercherait d'ailleurs en vain l'expression d'une compassion envers les victimes. » (Pinault 1997, p. 37).

« Deux ans plus tard, lors d'une conférence de presse tenue à Paris, le physicien [F. Joliot] reprocha à son collègue de Princeton, Henry D. Smyth, auteur d'un important rapport sur les usages militaires de l'atome, d'avoir passé sous silence « la part vitale de la science française aux découvertes ayant permis la fabrication des bombes atomiques ». Ce sentiment d'une injuste sous-estimation de la contribution française à la recherche nucléaire vint se greffer sur la blessure nationale récente de la défaite et de l'Occupation... » (Sarkar 2014, p. 136).

▪ Du 23 sept. au 03 oct. 1945, F. Joliot, Pierre Auger et Louis Rapkine sont à Londres. Ils font savoir : « *Le Professeur Auger... écrit Akers [Wallace Akers, directeur de Tube alloys, qui était le PDG de la compagnie ICI, Imperial Chemical Industries qui a produit le premier lingot d'uranium-métal, 50 kg, à la mi 1942] pour m'informer officiellement de l'intention du Gouvernement français de créer un institut de recherche en physique nucléaire... Le Professeur Joliot sera à la tête de cet institut...* » (Pinault 1997, p. 41).

Est posé en même temps la question du retour des trois français qui participaient à des recherches nucléaires annexes alors sous la direction de John Cockcroft au Canada : J. Guéron, L. Kowarski et B. Goldschmidt (qui initialement devaient rester jusqu'à début 1946), retour très souhaité par Joliot-Auger. Le gl L. Groves, prévenu, « profite de l'occasion pour souhaiter leur départ immédiat ». Le dernier à revenir en France sera B. Goldschmidt début 1946.

▪ « *La première séance de travail, afin de rédiger les textes définissant les missions et les contours du nouvel organisme, a probablement lieu le 3 octobre [R. Dautry prenant comme conseil Jean Toutée qui a rédigé le statut de la Régie Renault]. Joliot s'y présente avec une courte page de notes préparatoires contenant les indications auxquelles il tient le plus. (...) « Le rôle du Haut Comité, écrit-il tout d'abord, est de poursuivre les recherches scientifiques et techniques en vue de l'utilisation de l'énergie atomique dans les divers domaines de la science de l'industrie et de la défense nationale. ». Cette phrase fondatrice figure, presque sans modification dans le texte promulgué par le général de Gaulle. On peut noter que Joliot a envisagé dès le départ de confier au futur organisme une mission militaire. ». (...) Frédéric Joliot énonce ensuite une série d'autres missions... (...) « fournir au chef du gouvernement toutes les informations concernant l'énergie atomique et ses applications en particulier en vue des accords internationaux... »... (...) Puis viennent les préoccupations financières : « Budget annuel. Versement par tranche par avance. Justification après dépenses. » Joliot ajoutera « autonomie financière ». » (Pinault 1997, p. 44).*

F. Joliot avait prévu une autorité unique, Haut Commissaire, qui revenait à un scientifique. Mais cela pouvait difficilement plaire à l'X R. Dautry, qui voulait au moins un pouvoir égal à égal, d'où la structure finale d'un CEA à deux têtes.

▪ Moins de 3 mois après la destruction des deux villes japonaises mais aussi trois jours avant l'expiration du statut provisoire qui permet au gouvernement de légiférer sous le seul contrôle du Conseil d'État (ce dernier alors dans un "rôle d'état" ayant été impliqué dans les décrets d'application souvent perfectionnistes des lois vichystes), et alors qu'il y avait tant à faire par ailleurs, paraissait l'ordonnance n° 45-2563 du 30 octobre 1945 instituant un Commissariat à l'énergie atomique (JO du 31 octobre 1945, p. 7065-66). L'article 1^{er} définit les objectifs :

« *poursuit les recherches scientifiques et techniques en vue de l'utilisation de l'énergie atomique dans les divers domaines de la science, de l'industrie et de la défense nationale. »*

Par conséquent, comme l'appliquera plus tard P. Guillaumat (son interview en 1986; [là](#)) :

« *...nous n'avions pas besoin du parlement. L'ordonnance du Commissariat à l'énergie atomique lui donnait mission de faire la bombe atomique... A partir du moment où réglementairement, apparaissait régulièrement dans le budget un chapitre qui me donnait le moyen de faire les études militaires, je faisais les études militaires. »*

L'article 2 définit la composition du comité qui doit administrer le CEA :

« *Un haut commissaire à l'énergie atomique
Trois personnalité qualifiées par leurs travaux relatifs à l'énergie d'origine atomique ;
Le président du comité de coordination des recherches concernant la défense nationale. »*

De plus c'est ce CEA qui :

« **organise et contrôle, d'accord avec les départements ministériels intéressés, la prospection et l'exploitation des gisements des matières premières nécessaires ;** »

La signature du Président du Gouvernement Provisoire, C. de Gaulle était suivie par celles de 9 ministres. Les ministres des affaires étrangères, J. Jeanneney, de la guerre, A. Diethelm, de la marine, L. Jacquinot, de l'air, C. Tillon, venaient en tête. Le Ministre des colonies, P. Giacobbi, n'était pas oublié ni celui de l'économie, R. Pleven.

Le décret du 3 janvier 1946 nomme Frédéric Joliot Haut Commissaires (Art.2). Dans l'article 1^{er} on trouve :
« *Sont nommés membres du comité de l'énergie atomique, en outre du président du comité de coordination des recherches scientifiques intéressant la défense nationale, membre de droit...* »

Pour la défense nationale « membre de droit », c'est le Général Paul Boch-Dassault, polytechnicien (frère aîné de Marcel, qui était dans les services techniques d'armement dans les années 1930 et commandant des forces antiaériennes du territoire en 1940 et donc devant collaborer étroitement alors avec R. Dautry, et qui a été maintenu dans l'armée pendant l'occupation par dérogation).

Le tout était placé sous l'autorité directe de la Présidence du Conseil (i.e. Premier Ministre du moment) donc court-circuitant pour la suite les ministères, ne parlons pas du parlement.

Dans le comité scientifique du CEA nommé par le décret du 3 janvier 1946, on trouve, Pierre Auger et Bertrand Goldschmidt, avec Lew Kowarski, Francis Perrin, Irène Curie-Joliot, Pierre Biquard, Léon Denivelle, Jean Langevin, avec Frédéric Joliot Haut Commissaire et Raoul Dautry Administrateur général. A cette occasion F. Joliot quitte la tête du CNRS.

II-2. Uranium : précipitations aux sites connus

II-2-1. Les américains d'abord, 1943-44

Les préparatifs à la possibilité d'un acte potentiel de ce type (vu que alors Hitler était suspecté de pouvoir le faire de son côté) avaient commencé deux ans et demi auparavant (on en a parlé [là](#) § II-2-1.). Déjà il fallait le matériel de base, l'uranium. Les localités connues étaient celles de l'époque du rush pour le radium. A cela l'Afrique coloniale était en tête avec la mine de Shinkolobwe de la colonie Congo-"belge", "the" grand fournisseur.

Mais la Madagascar ayant eu un passé de fournisseur de minerai n'a pas été négligée. Le *Manhattan project* a embauché le géologue de terrain du Kennecott Copper Corp. de Californie, Weston Bourret, qui s'y rend en **1943-1944** avec un assistant, Frank West :

« *Sur une période de 4 mois on a étudié minutieusement 40 pegmatites, leurs dimensions, attitude, contrôle structural, le mode d'emplacement, la minéralogie, la structure interne, le cœur de quartz, la distribution des minéraux de terres rares, l'altération, la production et le contenu en U_3O_8 des concentrés. Trois des plus grosses et les plus typique, ont été cartographiées en détail à l'échelle 1 : 1200.* », cela « *dans des conditions très éprouvantes et difficiles.* » (Bourret 1988, p. 181, 178)

Ils ont forcément été pris en charge par l'armée anglaise pour tous aspects matériels (avec ordre de mission venant de haut).

Les vichystes, ultra majoritaires jusque là dans la petite communauté française de l'île, venaient de faire détruire par leurs tirailleurs tous les ponts principaux face à cette armée des *King's African Rifles*, pour l'Angleterre. Et pour ces deux géologues qui découvraient la vaste île il s'agissait de retrouver des petits sites perdus abandonnés 20 ans auparavant. Le but de l'excursion ne pouvait être que soigneusement caché aux français vichyo-maintenant-gaullistes puisque au moment où elle a lieu la France vichyste collaborait à plein avec Hitler d'un côté, avec le Japon impérial de l'autre. Et le secret le plus absolu entourait le projet Manhattan. Il fallait obtenir le plus de renseignements géologiques possibles sous divers prétextes.

W. Bourret conclut de ses observations que les pegmatites uranifères de Madagascar, étaient trop dispersées, le taux d'uranium pas assez élevé, en quantités trop limitées pour mécanisation, dans un contexte de manque d'infrastructure et d'énergie. C'était de peu d'intérêt.

Le même binôme Bourret-West glisse en mai 1944 en Afrique du Sud, au Witwatersrand alors exploité pour l'or. Un peu d'uraninite y avait été mentionnée en 1923. Ils ramènent de nombreux échantillons, suspectent un gros potentiel pour l'uranium qui sera confirmé par les analyses. Des géologues de l'*United State Atomic*

Energy Commission et du Geological Survey de Grande Bretagne s'y sont aussitôt mis au travail... en toute discrétion.

II-2-2. Les premiers nucléocrates français, 1944-45

II-2-2-1. La Madagascar a été désignée par les scientifiques comme indispensable à l'atome

Quelques mois après que les deux géologues américains aient quitté la Madagascar, au Canada : « *Ce sont les physiciens Pierre Auger, Jules Guéron* et Bertrand Goldschmidt qui **priront l'initiative** d'attirer l'attention du Général [violant leur serment vis à vis des anglais, c'est J. Guéron le seul que connaît C. de Gaulle, qui lui parle 3 mn dans une arrière-sale du Consulat; quelques minutes plus tard P. Auger et B. Goldschmidt sont en milieu ouvert, parmi d'autres, présentés au général] sur l'importance de ce « nouvel élément de la politique mondiale » au cours de la visite de ce dernier à Ottawa en **juillet 1944** [le 11 juil.], un an avant l'essai Trinity. **Ils le pressèrent de relancer la recherche nucléaire en France dès que possible et d'entreprendre la prospection d'uranium à Madagascar.** » (Sarkar 2014, p. 135).*

* J. Guéron dirigera le centre CEA de Saclay de 1951 à 1954, a donné des cours de chimie nucléaire au CNAM de 1951 à 1958 puis, établi à Bruxelles, a été directeur général à la recherche et l'enseignement de Euratom de 1958 à 1968 (son cousin germain par alliance E. Hirsch préside Euratom de fév. 1959 à fin 1961), puis des cours à l'Université d'Orsay de 1968 à 1974 et enfin conseiller de Framatome de 1974 à 1982 (dont le D.G., Jean-Claude Leny a débuté à Euratom, retour d'ascendeur).

De fait B. Goldschmidt* écrit dans son livre "Le complexe atomique" 1980 (p. 72) :

« **Nous souhaitions qu'il put... et enfin connaître l'existence des ressources uranium de Madagascar.** ».

* Bertrand Goldschmidt a dirigé une mission CEA en Inde en décembre 1951. Quelques années plus tard c'est notamment lui qui sera derrière la fourniture réacteur-extraction plutonium à Israël (Wilsoncenter.org, "Interview with Bertrand Goldschmidt", [là](#)). Par arrêté du 25 janvier 1957 il sera nommé en même temps que Yves Rocard et Jacques Yon et Pierre Taranger au CAMEA, Comité des Applications Militaires de l'Énergie Atomique, présidé par le chef d'État Major de la défense nationale et avec l'Administrateur et le Haut Commissaire du CEA, les 4 directeurs techniques de l'armée et le général en chef du cabinet armement (in Mongin 1997). Il devient ensuite, de 1958 à 1980 une sommité de l'AIEA, cet organisme de promotion de l'énergie nucléaire "civile" dans le monde, grâce à quelle énergie "civile", l'Inde et le Pakistan ont rapidement eu leurs bombes respectives. B. Goldschmidt, Chairman du Bureau des Directeurs de l'AIEA défendra aussi plus tard la France lorsqu'elle a vendu un réacteur atomique de recherche élaboré à l'Irak de Saddam Hussein, affirmant que c'était sans risque de prolifération (les israéliens croyaient tellement ce bluff finanço-politico-commercial de leur ancien fournisseur, qu'ils ont immédiatement bombardé ce réacteur, quand bien même cela pourrait justifier d'autres de faire la même chose sur le leur).

Ce qui est repris en document CEA (reproduit in Barillot 2005, p. 15) :

« [en juillet 1944] ... Bertrand Goldschmidt, se souvient : «*Nous voulions qu'il [le général de Gaulle] pût à la fois tenir compte de l'avantage considérable que représentait pour les États-Unis l'éventuelle possession de l'arme nouvelle, prendre en France les mesures nécessaires à une rapide reprise des recherches atomiques et enfin connaître l'existence des ressources en **uranium de Madagascar**, auxquelles nous attribuons alors une importance qui se révélera par la suite très exagérée. (...) Pour le CEA naissant au début de 1946, chargé entre autres missions d'assurer l'approvisionnement en matières premières nucléaires (uranium, thorium, etc.), **Madagascar bien connue pour sa richesse en minéraux variés... est considérée un peu comme l'eldorado.** ».*

Pinault (1997, p. 32) :

« *La première question est celle des matières premières. Comme l'a écrit un historien de l'uranium français, les premiers temps furent vécus « dans la hantise de la maîtrise des matières premières ».* Uranium, eau lourde et graphite... (...) *Après une rencontre avec Joliot, Barrabé et Orcel, tous deux professeurs au Museum et anciens membres du Comité directeur du Front national universitaire, lui écrivent le 11 décembre 1944, à la direction du CNRS, pour proposer la création d'une commission chargée de l'étude des ressources minérales de la France et des colonies. Parmi ses membres se trouve André Savornin, gaulliste et résistant, futur directeur des Recherches minières du CEA, géologue travaillant alors en Afrique sous les ordres de Pierre Guillaumat*, « un peu un pirate », selon une formule de Pierre Biquard, et qui part peu après en mission. **Dès l'été 1945, Barrabé et Orcel organisent une mission de prospection à Madagascar.** Ils deviendront les responsables de la formation des prospecteurs du CEA.* ».

* A part ceux placés tout en haut de l'appareil vichyste qui ne pouvaient pas le cacher, beaucoup de l'élite française, qui dans son immense majorité s'est fort bien acclimatée au régime de Vichy, se présentera après la guerre comme plus ou moins « résistante » et « gaulliste ». Pas grand monde ne cherche à vérifier ces auto-proclamations ce qui est bien sur pas commode puisque par définition cette activité supposée avait à être clandestine. On a pu vérifier dans le cas de l'X-Mines Pierre Guillaumat que c'est de l'intox mensongère du même type de celle plus tard qu'il fera sur les tirs (« essais ») atomique français dits « propres » ou encore les avions renifleurs : [ici](#). Comme on le mentionnera ci-dessous, A. Savornin qui était au Service des Mines de Madagascar dans les années 1930 fait des conférences dans la France Vichyste sur les ressources minérales dans les colonies. Et ça c'est vérifiable, on sait même combien il se faisait payer pour le faire.

Paucard (1992, p. 6) :

« Pour trouver un Directeur des Recherches et Exploitations, Raoul Dautry* se tourne, **dès le printemps 1945** – six mois donc avant la création officielle du CEA – vers le service des Mines qui propose André Savornin. Alors sans tarder, **en juin**, le nouveau futur directeur **s'envole pour Madagascar**, où il va rencontrer les sociétés minières, un temps productrices... ».

* R. Dautry, est alors ministre de la reconstruction et de l'urbanisme où il y a tant à faire. Les scientifiques de l'atome en veulent, ça c'est sûr.

Ou encore Adamson (2020) :

« ...l'exploration pour l'uranium était en cours avant même son démarrage légal. Une mission de prospection a visité la Madagascar pendant l'été 1945, plusieurs mois avant la charte de création du CEA. »

Ndong rapporte le cadre mis en place à cette fin (2012, p. 277-8) :

« **Une des tâches principales que fixe le Comité du CEA pendant la première période de sons existence est la prospection minière des territoires français, notamment ceux d'outre-mer... et dès que possible, un commencement d'exploitation de certains de ces gisements. Mais, avant, le Comité de l'énergie atomique met les minerais radioactifs sous la protection de la loi... Les propositions du Comité de l'énergie atomique sont approuvées par le gouvernement et font l'objet du décret n°46-614 du 5 avril 1946. Accompagné de deux arrêtés du même jour, ce décret prévoit que l'État se réserve les nouveaux droits de recherche et d'exploitation des minerais d'uranium et de thorium et des minerais mixtes. De plus, toutes les transactions portant sur les minerais radioactifs sont soumises à l'autorisation de chef de service des Mines agissant selon les instructions du Comité de l'énergie atomique. Enfin, ce décret prévoit que, pendant une délai de trois ans, l'État peut racheter par voie d'expropriation les droits miniers existants portant sur l'uranium et le thorium... Madagascar est en 1946, le premier territoire ou le CEA envoie ses équipes de recherches minières.** ».

On voit ce qui advient au concept de démocratie et de celui d'économie, à peine l'atome arrivé, institution d'un bastion dictatorial pour tout ce qui touche au sujet.

A ce moment rien n'était très défini, ces premiers prospecteurs étaient à la fois SERP (Syndicat d'Études et de Recherches pétrolières créé en 1934), à la fois CEA, ou CIPRA (Centre International d'enseignement en Prospection et valorisation des minerais Radioactifs industriels, qui est en cours de création).

André Savornin est ingénieur en chef du Corps des Mines. Il a été Chef de Service des mines de la colonie malgache au moins 6 ans à l'époque du gouverneur général Léon Cayla (ce dernier qui a joint le parti fasciste s.s. PPF de Jacques Doriot pendant la guerre), avec H. Besairie. Il était dans des levers géologiques et magnétiques à partir de 1932 (Notes Acad. Sc. 5 décembre) et de nouveau de 1935 à 1937, publie encore sur ce sujet en 1939 (Anal. Géo. Mines, fasc. 10, Tananarive). Il a travaillé sur la carte géologique Ihosy-Sud de 1933 à 1936, et à cette occasion a cherché à expliquer l'origine de la phlogopite alors en exploitation dans l'Androy (Savornin 1934). Il envoyait des échantillons à Alfred Lacroix, a écrit notamment sur l'exploitation aurifère de l'île (Chronique coloniale 1933) et a été chargé de rapporter sur les recherches pétrolières dans l'Ouest de la Madagascar au *World Petroleum Congress* à Paris en juin 1937.

Une fiche sur l'histoire de l'Université de Nancy (160^e anniversaire, rédigée par JF. Cussenot) apporte le détail suivant sur l'activité d'André Savornin début 1944 en France vichyste :

« Par arrêté du Recteur du 21 janvier 1944, il est chargé de deux conférences sur les recherches de pétrole dans les colonies lointaines, et quatre conférences sur les méthodes de colonisation française, à l'Institut de Géologie appliquée. Il recevra une indemnité de 1 800 F (fonds de Faculté) ».

En mars 1948 A. Savornin démissionne de la *Direction des Recherches et Exploitations Minières*, DREM, du CEA, créée en 1946. Il semble qu'on lui reproche ses méthodes de direction (c'est un X, il n'aime pas les syndicats).

Ensuite (Jurgensen et Mongin 2018) :

« ... capitaines de frégate Pierre Théréne et André Goua... Détaché à compter du 01 avril 1948 auprès du laboratoire de synthèse atomique de Frédéric Joliot-Curie, Pierre Théréne exerce à partir du 01 octobre 1950 les fonctions de chef de la mission de Madagascar, puis de l'ensemble du groupement des recherches minières du CEA en Afrique en 1956. La carrière d'André Goua s'effectue en parallèle avec celle de Pierre Théréne : capitaine de frégate de réserve à compter du 1 février 1952, il dirige la mission de prospection en Afrique équatoriale française pour le compte de la DREM jusqu'en 1955. Il prend alors la relève de Pierre Théréne à Tananarive jusqu'en 1963 et achève sa carrière en dirigeant l'ensemble du département « Afrique-Madagascar » de la DREM de 1963 à 1965. ».

II-2-2-2. Retour à l'autunite (uranocircite)

« La première phase est celle de l'échec de l'uranocircite à Vinaninkarena. Les premières équipes de prospecteurs s'installent à **Antsirabé courant 1946**. Elles reprennent en main, à environ 12 kilomètres au sud, le gisement de Vinaninkarena, exploité pour le radium... [cf. § 1-3-2-1.]

Après évaluation des réserves, les techniciens du CEA essaient de mettre au point une méthode de traitement de minerai par flottation. Une petite laverie pilote fonctionne en avril 1949. Ses résultats sont complétés par des études faites en France en 1951. Il est alors décidé de construire une laverie industrielle capable de traiter 90 tonnes de minerai par jour et de produire par an 15 à 20 tonnes d'uranium sous forme de concentré à 40 %. La laverie est mise en service fin novembre 1952 et inaugurée officiellement début 1953. Mais très vite, il faut déchanter. En plus des problèmes mécaniques qui perturbent le broyage, les exploitants se heurtent à d'insurmontables difficultés d'alimentation et de manutention de minerai argileux et collants. Ce minerai est de nature très irrégulière obligeant à des réglages incessants de la qualité des réactifs de flottation eux-mêmes de qualité très dégradée par la chaleur locale. Après une année de fonctionnement, la laverie présente un bilan très médiocre. Ainsi, sans surprise, en octobre 1954, l'unité de production de Vinaninkarena disparaît... (Ndong 2012, p. 277-9).

Premoli (1979 p. 56) : « uranocircite d'Antsirabe... Immédiatement après la seconde guerre mondiale, le CEA a installé une petite unité pilote mais le minerai s'est montré difficile à concentrer et le travail a été abandonné »

II-2-2-3. Retour aux pegmatites

▪ La pegmatite de Ambatofotsy (Fig. 10.) a évidemment elle aussi été "revisitée" par les prospecteurs "CEA" de 1947 à 1950. Les renforts militaires étaient là, les prisons étaient plus que pleines alors, il y avait beaucoup de prisonniers disponibles. Ils ont fait réaliser 1200 m³ de galeries, 390 m de sondages et 16 m de puits. « Les résultats ont été décevants ; la teneur était très basse et il n'y a eu que quelques tonnes de betafite collectées. L'héritage de la mine est une colline pas bien belle pénétrée par quelques conduits ouverts et dangereux. » (Hogarth 2010, p. 342; qui guidé par A. Andriamitantoa et J.C. Raobadia de l'OMNIS s'y est rendu au travers d'une savane dense et les blocs de quartz qui parsèment toute la colline).

- Premoli (1979 p. 51) : « Une très petite production a été obtenue **en 1947-1950** particulièrement de la pegmatite de Anabafotsi [sic, Ambatofotsy], dont la quantité se montait seulement à quelques tonnes de concentré ».

▪ Ndong (2012, p. 279) : « La région de Malakialina est abordée par les équipes du CEA avant tout pour la recherche des niobotantalates, minéraux radioactifs contenant de l'uranium, du niobium, du tantale et du titane. Quelques dizaines de tonnes sont recueillies et expédiées en France. Malheureusement... pratiquement inutilisables comme sources d'uranium. En dehors des gisements de niobotantalates, les travaux de recherche sont orientés en vue de déterminer l'importance pratique d'indices de pechblende signalés en 1924 dans les filons de pegmatite de la région de Malakialina par Mlle Brière, alors minéralogiste au Service des Mines ... pas à une découverte importante... En revanche, le gros effort effectué par la mission sur les filons de pegmatite, tant pour la recherche des niobotantalates que pour la recherche de la pechblende de Malakialina, conduit à une bien meilleure connaissance de la localisation du béryl...»

II-2-2-4. Les subventions sont pour les CEA-Pechiney, la répression militaire pour les autochtones

▪ Selon l'ode de Ginier (1965) : « ...activité du CEA en Afrique et à Madagascar : La prospection s'y est poursuivie depuis 1946 en utilisant les méthodes les plus modernes... ».

Et pourtant..., bien que le responsable nommé de cette recherche d'uranium dès la mi-1945 soit un X du Service des Mines qui connaissait bien l'île, et particulièrement l'Androy qu'il a fréquenté plusieurs années, en dépit des compteurs Geiger, les équipes CEA sont restées bredouilles. L'uranothorianite de l'Androy sera

découverte en 1953 parce que quelqu'un leur apportera des échantillons. Ce CEA de la fin des années 1940 ne faisait que faire gratter les restes des années 1920.

- Si le gl. C. de Gaulle avait pris "l'initiative Brazaville" fin janvier 1944, c'est que avec Franklin Roosevelt à la tête de la désormais sur-puissance mondiale dont la France *Libre* dépendait alors pour tout, il y avait menace que « la France » perde des colonies. A l'ONU en création on parle de l'auto-détermination politique des peuples.

Pour montrer que "la France" était déterminée à faire seule ses réformes, il avait été annoncé à cette occasion qu'elle allait prendre des mesures pour « *le bien être* » de ses *indigènes* dont ces gouverneurs réunis à Brazzaville avaient alors glorifié la "fidélité".

C'est dans cette optique que l'Assemblée Nationale a voté la loi 46-860 du 30 avril 1946 (J. Soustelle ministre des colonies) instaurant les FIDES, *Fonds d'Investissement pour le Développement Économique et Social* des territoires d'outre-mer avec dans l'article 1 de cette loi :

« *Ils auront pour objet : d'une part et par priorité, de satisfaire aux besoins des populations autochtones et de généraliser les conditions les plus favorables à leur progrès social ;* »

Or, qui va récupérer ces fonds (Giuliani et al. 2010, p. 302) ? :

« *Après 1945... Fides... Ce nouveau financement permet le développement du Service géologique et surtout l'installation à Madagascar de différents organismes d'État dont le Bureau de recherche minière (BU.MI.FOM. devenu par la suite le BRGM), le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), la Société des pétroles de Madagascar (SPM) et également de grandes sociétés comme Ugine et Pechiney. Par la suite, l'aide française du Fonds d'aide et de coopération (FAC) succéda au Fides et le nombre de géologues et de prospecteurs augmenta régulièrement au Service géologique qui, fort de 32 personnes en 1948, atteignit le nombre de 187 en 1956* »

- En 1945 et pendant encore un an, 10 000 jeunes tirailleurs malgaches, réquisitionnés depuis 1940 ou 1939 pour défendre la mère-patrie *civilisatrice* sont coincés pendant ce qui aurait dû être les plus belles années de leur vie (les "20 ans") alors que cette patrie collabore avec le régime hitlérien. Depuis 5-6 ans déjà, et ça fera un inadmissible 6 à 7 ans, ils ont été ignorés, abandonnés à faire des corvées. On en retrouvera beaucoup, révoltés contre cette France, dans l'insurrection de 1947.

- Pendant ce temps là le CEA avait déjà commencé à inspecter la terre de leurs ancêtres pour ramener de l'uranium de l'île pour quelques scientifiques de l'atome, impatients. Ces derniers agissaient au plus haut niveau politique pour que ce soit fait. Ce n'est pas seulement pour satisfaire les colons les plus réactionnaires que la révolte de l'Est de l'île est écrasée militairement, que la jeune élite politique est jetée dans des camps infects et torturée. A Antsirabé ou étaient des prospecteurs CEA, il y a eu rébellion.

- Pendant qu'ailleurs les 30 glorieuses commencent, les malgaches ont continué de connaître au passage des années 1950, chez eux, une condition d'indigène, sans droits, décret du 26 sept. 1947 :

« *autorisant le haut commissaire à prendre toutes mesures tendant à restreindre la liberté de presse et de réunion...* »,

J-L. Raharimanana (in Favier 2011) :

« *... les élèves indigènes n'avaient tout simplement pas le droit de passer le Baccalauréat, il fallait être citoyen français pour le passer...* »

II-3. Le Béryl 1949-64

II-3-1. Le béryllium est une matière nucléaire

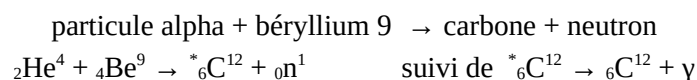
Début 1932 par bombardant du béryllium (aussi appelé glucinium) avec une source de polonium (le 210, émetteur alpha pur, sa source était de 5 mCi = 185 MBq), James Chadwick avait compris la nature du neutron, particule de masse comparable au proton mais non chargée, donc beaucoup plus pénétrante, ce qu'il publia aussitôt dans *Nature* en février et dans les *Proc. Roy. Soc.* en mai 1932.

Pour la petite histoire, Norman Feather, un élève de J. Chadwick, qui a passé un an aux États-Unis (à Johns Hopkins, Baltimore) en est revenu avec 300 ampoules "usagées" du Kelly hospital, Baltimore, avec lesquelles, d'une source de 5 g de radium en solution, on prenait chaque jour du radon pour la médecine-nucléaire.

L'ensemble de ces ampoules arrivées à Cambridge devait contenir ~ 100 mCi de radium D, E, F. C'est là l'origine du Radium F (polonium) dont disposait J. Chadwick.

Accolé à un émetteur alpha (radium, polonium, plutonium ou américium, ça peut être du radon dont les descendants tombent ; après ont été utilisées des particules positives de cyclotron), le béryllium de masse

atomique 9 a la caractéristique de devenir producteur de neutrons, ses noyaux percutés formant préférentiellement du carbone de masse atomique 12 [cette réaction dite, (α , n) est exo-énergétique et un neutron est éjecté] :



Une source de 16 curies (592 GBq) produit par ce biais environ 40 millions de neutrons/seconde (Telford et al. 1990, p. 678). Cette combinaison Be- α (polonium 210 qui est émetteur alpha pur et qui à masse égale émet 5000 fois plus d'alpha que le radium) a ensuite été utilisée comme "allumette" dans les bombes atomiques (Dayton's project, [la](#), Dorikens 1998, p. 242) et pour le démarrage des réacteurs nucléaires.

De plus, le métal béryllium, léger, est utilisé dans la bombe comme dans certains réacteurs, comme "réflecteur", c'est à dire comme matière qui absorbe peu les neutrons mais les diffuse bien, ce qui renvoie vers le centre une partie des neutrons qui s'échappent et permet d'atteindre la taille critique avec une quantité moindre de matière fissile.

II-3-2. 1950, tractations atomiques avec l'Inde

Le 17 janvier 1950 Frédéric Joliot a fait la proposition suivante à Homi J. Bhabha (PhD physique, a travaillé avec W. Pauli puis E. Fermi à Rome, a travaillé au laboratoire de J. Cavendish de Cambridge jusqu'en 1939 ; il voulait miser massivement sur l'atome pour l'Inde naissante) (Sarkar 2014, p. 138-41) :

*« la France fournissait à l'Inde toute l'information technique sur la purification de l'uranium et le retraitement [(sic) production...] du graphite, ainsi que les plans d'un réacteur de faible puissance ; en échange de quoi, l'Inde livrait à la France du **thorium**, du **béryllium** et de l'huile minérale pour la production de graphite... un contrat sur le retraitement [(sic) extraction...] du béryllium fut rédigé en mars, en juillet, Jules Guéron rencontra H.J. Bhabha... En août 1951, le ministre français des Affaires étrangères informa les ambassades britannique et américaine à Paris qu'un accord avait été conclu entre les gouvernements indiens et français sur le béryllium... Tout d'abord... un réacteur à uranium naturel de faible puissance, modéré au béryllium... Au cours de ces cinq ans, l'AEC fournirait du béryllium au CEA pour la construction en France d'un réacteur identique... Selon l'accord, la France devait fournir l'uranium et l'Inde, le **Béryllium**... »*

Bertrand Goldschmidt, dont on se rappelle qu'il est l'un des trois qui en 1944 avaient recommandé au gl. C. de Gaulle de ne surtout pas lâcher la Madagascar, dirigeait cette mission CEA en Inde en décembre 1951.

II-3-3. Madagascar, retour aux pegmatites

Dans la région de Malakialina les niobotantalates à uranium s'avèrent inexploitablement comme source d'uranium et les indices de pechblende trop limités. Comme on l'a mentionné en § I-2-5., en 1913 aux USA Alfred Lacroix avait qualifié la Madagascar "le pays du béryl".

Guliani et al (2010 p. 302) :

« À partir de 1950, le CEA orienta la prospection sur le béryl industriel ($\text{Al}_2\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$) connu depuis Lacroix dans les régions situées à l'ouest de Fianarantsoa, Tsaratanana, Betafo-Antsirabe et Miandrivazo. Le BU.MI.FOM-BRGM et le Service géologique y participèrent activement sans réellement trouver de nouveaux gisements. Toute la production provenait des gisements connus. »

Ndong (2012 p. 279) :

« ... recherche... conduit à une bien meilleure connaissance de la localisation du béryl, entré depuis deux ans dans le domaine des préoccupations du CEA dont les besoins sont estimés en 1949 à 300 tonnes par an pendant cinq ans. C'est pourquoi en 1950, l'activité du centre de Malakialina [voir carte Fig.7.] est reportée sur le béryl et la production commence en 1951. En deux ans, 1951-1952, la production totale de béryl des chantiers de Malakialina et des chantiers secondaires d'Ikalavavony et d'Ankazobé atteint 500 à 600 tonnes. Complétés par des achats à des exploitants privés avec lesquels il a passé des contrats, le stock du CEA atteint 900 tonnes et s'approche de l'objectif de 1500 tonnes. Mais à partir d'avril 1952, alors que les chantiers de Malakialina sont en plein essor, le CEA vit une grave crise financière qui contraint la DREM à sacrifier l'exploitation du béryl à la recherche prioritaire de l'uranium. Elles arrête donc ses chantiers. En 1955, le CEA cesse tout achat de béryl et, en compensation, laisse les producteurs locaux libres de vendre à tout acheteur. De fait, le béryl sort du régime spécial des matières utiles à l'énergie atomique. »

Murdoch (1963, p. 7) :

Le CEA "a été un producteur de Béryl et possède les plus grands gisements les faisant exploiter par la compagnie Pechiney de produits chimiques et électrométallurgiques..."

Commissariat Général au plan 1962 :

« Plusieurs pegmatites sont exploitées, mais cinq d'entre elles: A 4 et F. 3 de Malakialina, Antsakoa et Analila de Berere, Ambondrona, ont jusqu'à présent assuré plus de la moitié de la production totale de Madagascar. La minéralisation moyenne de certaines zones connues ne dépasserait pas 50 kilogrammes de béryl à la tonne; »

▪ Malakialina était le plus gros gisement, exploité par Pechiney, en souterrain et mécanisé, qui a employé un moment 135 ouvriers (Murdoch 1963 p. 93-99; présentes Fig. 14 et 15). Dans le rapport annuel 1960 du Service géologique (Besairie 1961, 187) : « Au 31 octobre 1960, on avait extrait de la pegmatite A4 à Malakialina, un total de 925 t de beryl industriel ; il en reste au moins 100 tonnes à vue, ce qui place ce gisement, et de très loin (si on le considère comme pegmatite isolée), au premier rang à Madagascar. », p. 197 : « des petits nodules d'uraninite ont été rencontrés récemment dans la pegmatite à beryl et columbo-tantalite A4 de Maolakialnina. Ils se sont formés dans le feldspaths rose foncé... » (avec autunite d'altération). Il a été fermé en 1963.

Guliani et al (2010 p. 302) : « De 1949 à fin 1963, la production a été de 6 276 tonnes (BESAIRIE, 1966). En 1964, la chute des cours du béryl va provoquer un abandon de la quasi-totalité des titres miniers des principaux champs minéralisés dans la région d'Ampanramaika-Malakialina. ».

Le béryl partait en France et aux États-Unis. Pechiney a travaillé le béryllium sur son site de La Praz à St Martin-la-Porte, vallée de la Maurienne jusqu'à la fin des années 70 (et reconnaît 14 cas de Béryllose dont 3 décès, le béryllium étant chimiquement toxique; Barillot, 2001, p. 120).

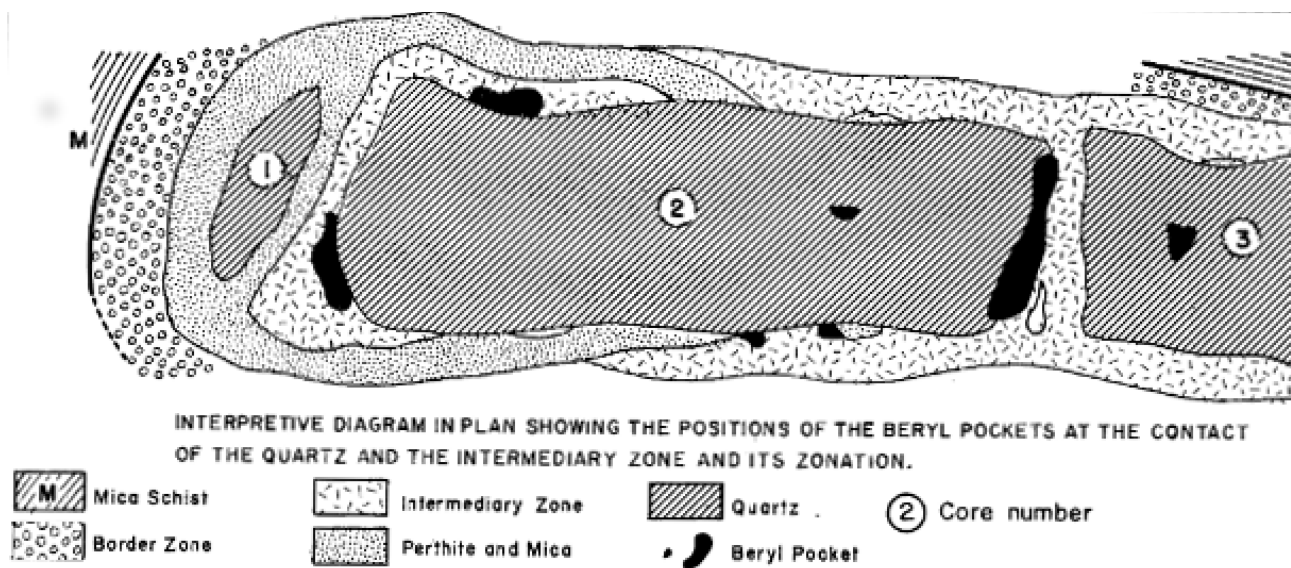


FIGURE 20. - Structure of A-4 Pegmatite at Malakialina.

Fig. 14. Plan de la pegmatite A-4 de Malakialina. Le béryl est trouvé en poches autour du cœur de quartz massif (in Murdoch 1963). Pour la géologie des pegmatites voir § I-2-5 et A-III, Lexique.



FIGURE 21. - Beryl Stockpile at Malakialina Mine of Pechiney Co.

Fig. 15. "Stocks de béryl à la mine Malakialina de Pechiney" (Murdoch 1963, p. 98)
C'est 140 km au NW de Fianarantsoa, au beau milieu de l'île, au Sud de la rivière Miatsatra (voir carte Fig. 7.)

II-4. L'urano-thorianite, 1953-1967

II-4-1. Outre l'uranium, le thorium était aussi considéré comme matière nucléaire

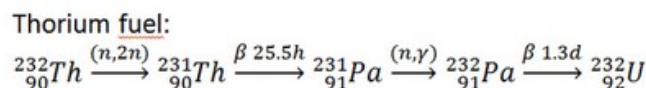
Pour la physique de la fission, au même titre que l'uranium 238, le thorium 232 est une matière dite "fertile". De même que bombardé par des neutrons le premier produit du Plutonium 239 ($238 + 1$), le deuxième produit de l'uranium 233 ($232 + 1$). L'U-233 est une matière fissile (de période 162 000 ans) artificielle au même titre que le Pu-239. Cet uranium 233 artificiel est une matière possible pour la bombe (sa masse critique est semblable à celle du Pu-239; les USA ont tiré une bombe U233 de 22 kt en 1955, lors de l' "operation Teapot" : le test aérien "MET", le 15 avril sur le site du Nevada ; il y en a eu d'autres, non nommés). Jules Guéron avait séparé quelques microgrammes d'U-233 au Canada à partir d'échantillons irradiés aux États-Unis. En France l'article du code de la défense R1333-70 traite l'U233 comme matière nucléaire équivalente au plutonium. Et l'U-233 artificiel est dans le principe un combustible possible pour des réacteurs atomiques.

"Quand on parle combustible "thorium", c'est pour rentrer dans un cycle de formation U233 [pour cela il faut un réacteur, qui fournit les neutrons à partir d'un autre combustible nucléaire], retraitement, réinjection de l'U 233 dans un réacteur, puis retraitement et ainsi de suite... Sans retraitement il est... impossible d'obtenir de l'U233." (Gazette nucléaire n°253, p. 4, [là](#)).

Parler plutonium 239 ou uranium 233 c'est parler avant toute chose de grosses usines chimiques atomiques comme "La Hague", ou Marcoule (puis usine de type MELOX pour fabriquer le combustible, les transports, etc.).

"Beaucoup plus radioactif que l'uranium, le combustible thorium s'avère accroître les problèmes à chaque étape. Tenter de recycler le thorium usé s'avère être très difficile à cause d'un niveau élevé de radiation." (Gazette Nucléaire n° 253, p. 4).

C'est que en même temps que l'Uranium 233 se forme de l'uranium 232 suivant la réaction :



L'isotope U-232 a une période de 68,9 ans se transformant par émission alpha en Th-228. Comme l'activité est environ inversement proportionnelle à la période, son activité est donc bien plus grande que celle de l'U-238, 60 millions de fois plus..., et en plus, il se rebranche sur la chaîne de décroissance du Th-232, mais bien plus vite donc, et a donc le Thallium-208 avec son gamma dur dans sa descendance (voir [ici](#) Fig. 4.). Donc quand on stocke du dit combustible U-233, qui contient forcément un peu d'U-232, ça devient plus, très, irradiant avec le temps, Alvarez (2013 p. 59) :

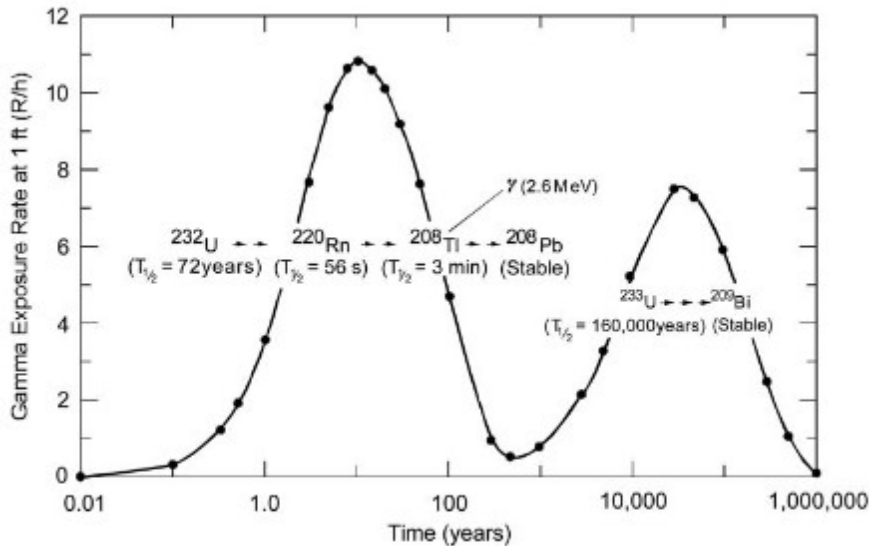


Figure 1: Gamma exposure rate for uranium-233 (ORNL/ TM-13553).

Fig. 16. « Taux d'exposition gamma pour l'uranium-233 » avec le temps

II-4-2. Le minerai extrait

- Ndong (2012, p. 279-280) :
« En mai 1953, les frères Hibon, exploitants de mica du Sud de Madagascar, apportent au Service des Mines de Tananarive des cristaux cubiques de densité anormale, trouvés au cours d'un sondage. Les minéralogistes du Service des Mines de la DREM identifient le minéral : c'est l'uranothorianite, oxyde double d'uranium et de thorium qui peut contenir 5 à 25 % d'uranium et 50 à 75 % de thorium. De petites livraisons de minerais, obtenues par des lavages sommaires d'alluvions, sont faites au DREM et représentent quelques dizaines de tonnes. La DREM entame la recherche de la localisation des gisements et l'évaluation des réserves. **En août 1954, Pierre Guillaumat*, administrateur général du CEA, visite les chantiers.** Sur le vu des réserves annoncées par les équipes locales du CEA et des contacts pris avec les États-Unis, **il décide de lancer l'opération, d'accorder des crédits pour l'exploitation minière et pour la construction en France d'une usine destinée à séparer par voie chimique uranium et thorium qui fait l'objet d'un contrat d'exportation vers les États-Unis.** ».

* le CV de Pierre Guillaumat est [ici](#)

- En fait, la présence de "thorianite" quelque part dans le Sud (éluvions) avait été décrite dans les années 1920 (Lacroix 1925) : "Il faut donc en conclure que... la thorianite résulte de la désagrégation soit de pyroxénite, soit de calcaires qui accompagnent fréquemment celle-ci. »
- Dans cette région de l'extrême Sud, région administrative de l'Anosy, à partir de 1954 les concentrations gravimétriques ont été effectuées dans des petites laveries situées à proximité des chantiers. En 1959 le CEA a regroupé ses installations près de Tranomaro (Ambatomika) à environ 80 km au NW de Tolagnaro/Fort Dauphin, matériel américain, broyeur, laboratoire, bureau, petite clinique, des habitations, un club pour les expatriés.
Il y avait concassage et broyage à environ 2 mm par broyeurs à barres. Un premier traitement par jigs permet de récupérer de 30 à 40 % de la thorianite. Les rejets des jigs sont criblés à ~ 1,5 mm et traités par spirales ; le pré-concentré obtenu est enrichi sur tables à secousses. Pour cela il faut de l'eau (par exemple pour 10 spirales à 5 tours montées en parallèle, 6 fibre de verre et 4 Humphrey).

Le CEA avait ses exploitations (Ambindandrakemba, Amboanemba...) et en achetait une partie à des petits exploitants privés qui fonctionnaient avec lui (M. Lanoue, la Société des Minerais de la Grande Île, les Établissements Jenny, et d'autres), Fig. 17.

Murdock (1963, p. 989) :

"Tous les gisements économiques sont dans la boucle de la rivière Mandrare 80 km au Nord-Ouest de Toalagnaro/Fort Dauphin", "la plupart des équipements miniers sont de manufacture américaine", "La mine d'Ambindandrakemba du CEA a fourni la plus grande partie du minerai jusqu'en 1963, à quelle époque elle était épuisée. A ce moment là l'usine de traitement qui était à coté et la ville minière de Ambatomika ont été fermées et les équipements ont été déplacés environ 40 km plus au Nord à Betioky qui est près de la zone minéralisée de Belafa. La réserve de minerai à Belafa est estimée à environ 2000 à 5000 tonnes d'uranothorianite (environ 100 000 à 300 000 tonnes de minerai)... Le minerai à Belafa a une moyenne de 0,3 % d'uranothorianite, allant de 0,2 à 0,6 %."; "Toutes les exportations ont été à l'usine du Bouchet, près de Paris."

A la fin ne fonctionnait que la laverie de Betioky d'une capacité de 500 tonnes de minerai par 24h. « On obtient ainsi des concentrés qui titrent de 15 à 22 % en U et de 50 à 60 % en Th. Le rendement de récupération est compris entre 80 et 85 % et le taux d'enrichissement est voisin de 300. » (Maget et al. In ONU 1965, vol. 12, p. 122).

La valeur du minerai est déterminée beaucoup plus par sa teneur en uranium que par sa teneur en thorium : la limite admissible se situe aux environs de 10 % en U dans les concentrés d'uranothorianite (Lenoble et Gangloff 1958).

"Madagascar fournit une production totale annuelle de près de 500 tonnes d'urano-thorianite, contenant 280 tonnes de thorium. (...) Le CEA [i.e. la caisse publique] a investi près de 3,5 millions d'unités UEP dans ses exploitations d'urano-thorianite de Madagascar", "Dans l'Union française, la principale production actuelle est celle de l'urano-thorianite de Madagascar, qui fait de la France l'un des premiers producteurs mondiaux de thorium." (Euratom 1958, p. 57; UEP = Union Européenne de Paiement, créé dans la lignée du Plan Marshall pour rétablir les échanges européens, 1 UEP = 350 FF en 1957).

Woodmansee (1967 p. 845) : *"La production de concentré a décliné en 1965 à cause de difficultés d'extraction et de broyage. La Société des Minerais de la Grande Île (SMGI) a eu des ennuis pour maintenir une teneur adéquate du minerai à Ikatefa et à Ambosary-Kelly, où le travail a du être suspendu temporairement. Aussi, il a manqué d'eau pour le plan de nettoyage."*

Slatick (1969, p. 499) : *"La production d'uranothorianite... a continué en 1967. Mais on attendait pas un contenu thorium de plus de 30 tonnes. Les gisements d'uranothorianites continuent d'être progressivement épuisés sans indication de découvertes ou développement de nouvelles réserves."*

Ces mines ont été abandonnées définitivement telles quelles en 1968 (exemple, Fig. 18.).

- Pendant que le CEA faisait récolter la betafite qui pouvait encore être trouvée à Madagascar alors que l'armée réprimait l'insurrection de la côte Est, de la pechblende était finalement découverte fin 1948 en France, un filon (nommé "Henriette") à la Crouzille en Limousin (épuisé en 1957).

- Un peu plus tard, un an après la découverte d'uranothorianite de Madagascar, en 1954 est découvert le gisement des Bois-Noirs, près de Saint-Priest-la-Prugne, dept. de la Loire, dans les monts du Forez. Cette même année ouverture de la mine de Margnac en Hte Vienne dans le Limousin.

- Fin 1956, le CEA découvre le gisement de Mouana dans un autre territoire de l'Union, celui du Gabon. Ce gisement produira 400 t par an dès 1962.

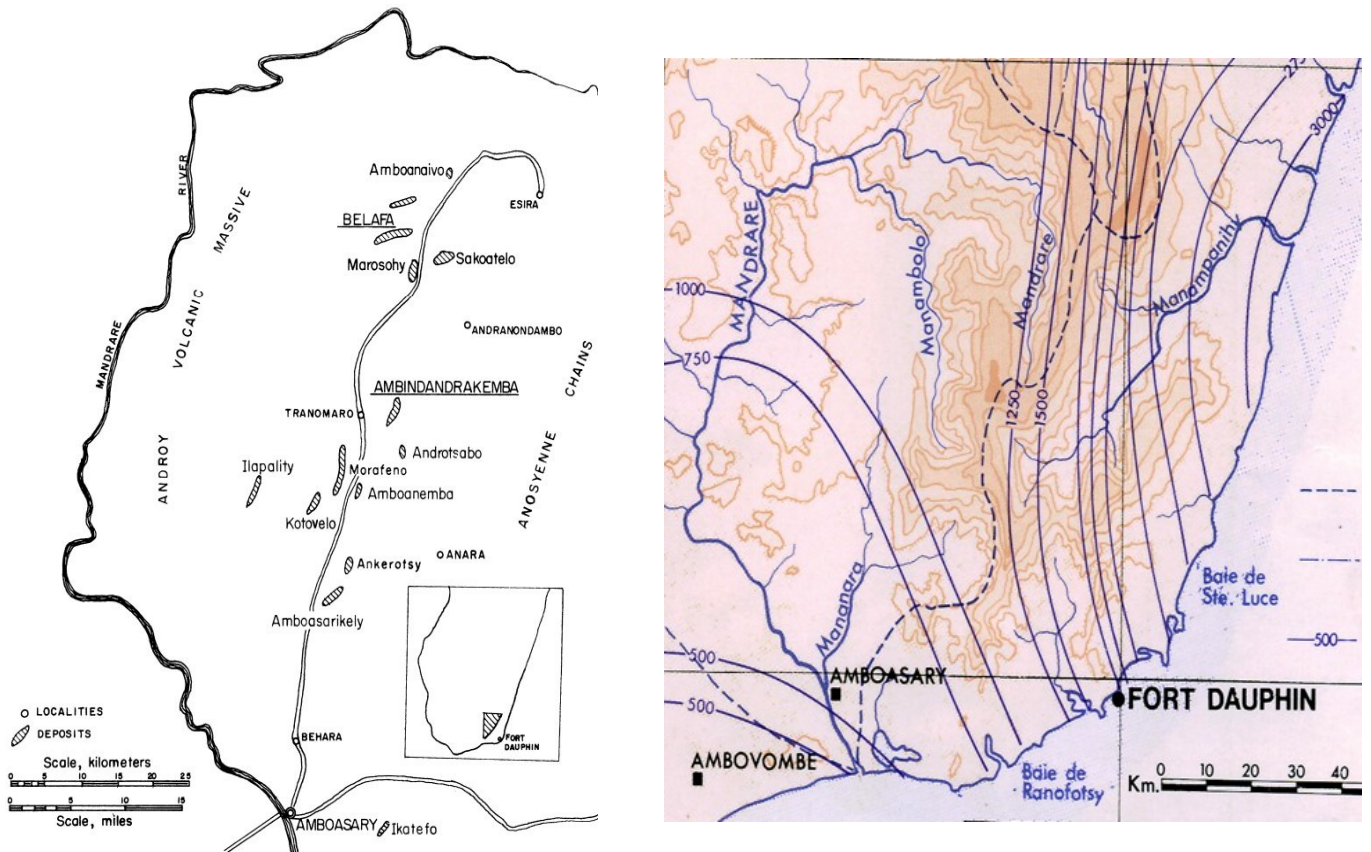


Fig. 17. Schéma des zones d'extraction de l'uranothorianite dans la boucle du Mandrare le long de la route Amboasary-Espira (Murdoch 1963 p 104). A droite la carte hydrologique avec courbes de précipitations et topographique. La zone des gisements de Tranomaro est drainée par le Mananara (via son affluent N-S le Betroky) alors que la zone de ceux de Belata est drainée par le Manambolo qui part vers le Nord sur le Mandrare.



Fig. 18. Mine CEA de Ambindandrakemba 4,5 km au NE de Tranomaro (IAEA 1962, p. 24 et vue satellite actuelle, mapbox).

II-4-3. Le travail d'extraction-concentration

Les emplois totaux ont été à 200 "spécialistes" et 800 ouvriers (selon Murdoch 1963, p. 103-6).

▪ Jolly (2004 p. 169) :

« Je suis allée une fois en avion avec Jean de Heulme sur le site de la mine et n'en revenais pas. Dans le pays qui est plus ou moins *mora-mora* - doucement-doucement – il y avait une mine en excavation ouverte qui fonctionnait 24 heures par jour sous des flots de lumière éblouissants. Des camions de la taille de maisons européennes transportait le minerai au broyeur – mais d'une manière véritablement malgache [c'est une vazaha élite américaine qui parle], les camions étaient chargés de nombres d'hommes comme des fourmis avec des pelles... (...) Les grains lourds de **thorianite** appelés localement « pierre-métal » étaient séparés de la poudre de roche sous courant d'eau par **des rangées de femmes qui actionnaient des tables de tamis à pédales** – comme lorsqu'on lave l'or des placers... (...) La régulation la plus dure à respecter dans l'Androy amical, si pauvre en transports, était que les chauffeurs ne pouvaient jamais prendre des gens sur l'arrière du camion. Les camions étaient formellement cadenassés lorsqu'ils partaient pour Toalagnaro/Fort Dauphin. Tout chauffeur qui montait un ami sans badge même dans la cabine, était viré sur le champs. »

▪ Hecht (2012, p. 215-6) :

« Les ouvriers avec lesquels j'ai parlé ont affirmé qu'ils n'avaient pas de problème avec les autres groupes ethniques de l'île. Le vrai problème était avec les vazaha, qui n'y comprenaient rien en zébus, le bétail avec une bosse qui était une composante essentielle de la société Tandroy et l'investissement premier avec les salaires des ouvriers. « je dis à mes enfants de prendre bien soin des zébus que nous avons, parce que j'ai travaillé dur [dans la mine] pour les acheter, et je ne suis pas sûr qu'ils pourraient travailler aussi dur pour en acheter autant. ». Les Vazaha ne respectaient pas les usages locaux. Ils ont délimité les terrains avec des clôtures et tués les zébus errants, en retournant les carcasses avec un avertissement sévère au lieu d'une excuse et d'une compensation. C'était une offense profonde pour les malgaches. Un zébus qui meurt en dehors d'un sacrifice rituel n'a pas de valeur. »

Hecht (2014, p. 20) :

« La particularité du vatovy [pierre métallique] tenait avant tout au travail éreintant consistant à casser la roche au marteau- piqueur, et à charger les pierres sur un chariot en bois. Mahata travaillait dans les carrières avec son père et ses deux frères, jusqu'au jour où son père est tombé sur une perforatrice pneumatique et a perdu une jambe. « On dit à nos enfants de prendre soin de leurs zébus parce qu'on a souffert pour les acquérir. On y a laissé pieds et jambes. Alors il faut prendre soin des zébus. Parce que vous, vous n'êtes pas capable de faire ce travail de forçat. [...] Mieux vaut s'occuper des zébus que de travailler là-bas » . Les mineurs évoquent les nombreux éboulements dans lesquels certains d'entre eux ont perdu bras ou jambes. » (cf. Fig. 19.).

Hecht (2014, p. 22) :

- « Les mines et les usines gérées par des entrepreneurs privés – des concessionnaires coloniaux qui vendaient leur minerai au CEA – n'utilisaient aucun dosimètre. Fanahia, qui a travaillé dans les deux types de mines, se souvient qu'« ils avaient des dosimètres [pour les gamma] au CEA, mais pas ailleurs »

L'un des fils du thorium-232, le thallium 208, est émetteur gamma dur, i.e. avec une énergie très élevée de 2,61 MeV, gamma très pénétrant. C'est même une des raisons pour laquelle une filière thorium dans la pratique n'a jamais décollé.

Hecht (2012, p. 38-39, et 227) :

"« Après avoir visité une mine d'uranothorianite en Madagascar dans les années 60, un métallurgiste du Commissariat à l'énergie atomique français [Robert Bodu, sommité du CEA passé dans l'île en 1960], a décrit navré un exemple d'une telle exposition : « le concentré est étalé au soleil sur de grande feuilles métalliques et est retourné périodiquement par un ouvrier avec un pelle ou un râteau. Cette manière de faire est archaïque, longue et par dessus tout dangereuse parce que l'ouvrier est exposé à la poussière et radiation. »"

Et, Jacques Lafuma du CEA, lors d'une audition publique en 1996 (in Crié et Rivasi 1998, p. 152) : "Je connais personnellement des leucémie parfaitement radio-induites... un prospecteur. Il travaillait à Madagascar et récupérait le minerai. Comme on lui volait le minerai, il l'avait stocké dans une pièce où il passait toutes ses nuits pour le surveiller... l'estimation donne des doses de l'ordre de quelques grays." (il ne précise par où ni quand)



Open-pit mining in the Androy, 1950s or 1960s. (undated photo, courtesy of Cogéma)

Fig. 19. Ils sont sinon éleveurs de zébus; pas de chaussures dans des excavations déstabilisées à l'explosif dans les zones les plus radioactives qui intéressent le CEA (dosimètres ? ?), (in Hecht 2012, p. 224)

Davis (2001 p. 167) : « *L'uranothorianite est beaucoup plus active que le minerai de thorium et d'uranium normalement traité.* »

Hecht (2014 p. 27) :

« ...les expositions aux rayonnements à Madagascar n'étaient pas évoquées dans les publications du CEA concernant la radioprotection. Aujourd'hui, aucun moyen ne semble exister pour récupérer les données relatives aux expositions cumulatives des employés malgaches des mines d'uranium. Nous savons, en revanche, que du fait de leur teneur en thorium, ces minerais émettaient des **niveaux exceptionnellement élevés de rayonnements gamma, plus de deux fois ceux de la pechblende**, minerai d'uranium à très haute teneur. Ceci est évoqué très brièvement dans un manuel produit en 1976 par l'AIEA sur la sécurité radiologique, et coécrit par un expert du CEA en matière de radioprotection. Le manuel décrit parallèlement les dangers que provoquent les rayonnements gamma dans les usines d'uranium : « il a été montré que, dans certains cas le concentré de pechblende produisait des champs de rayonnements très élevés (atteignant 40 mR/h) [...]. On signale également des niveaux atteignant 100 mR/h dans le cas de concentrés d'uranothorianite » (...) les experts en radioprotection du CEA ne prenaient en compte les niveaux de radioactivité élevés des minerais que **lorsque les roches arrivaient** dans l'usine de transformation de la **métropole**. C'est là qu'elles prenaient tout leur sens nucléaire, là également que leur radioactivité semblait élevée par rapport à celle d'autres minerais, **là que des précautions supplémentaires devaient être prises** » « Dès 1967, les ouvriers, les outils d'exploitation et les carrières sont épuisés. Le CEA plie bagage et rentre en métropole. » (Hecht 2014, p. 25).

II-4-4. Métallogénie (géologie)

- Les gisements d'uranothorianite sont répartis vers l'extrémité SE de l'île, dans une région d'environ 60 km de long et 15 km de large, au NW de Tolagnaro/Fort Dauphin, Fig. 17.

C'est le domaine de l'Anosien, Groupe de Tranomaro/Couches de Tranomaro, une ancienne série volcano-sédimentaire de composition calco-magnésienne. On revient ici au domaine géologique particulier du socle malgache (métamorphisme très fort et complexe) et il peut être utile de voir le dossier géologie, [ici](#), ce domaine de l'Anosien y étant présenté en § IV-1-3-3. La série est pénétrée par des intrusions granitiques contemporaines de petites tailles.

- C'est la zone sens-large où se trouve le mica phlogopite : Fig. 20. Mais on voit que s'il y a de la phlogopite là où il y a l'uranothorianite, il n'y a d'uranothorianite que à Tranomaro sur un petit segment Nord-Sud qui est supposé être une zone cisailante mineure.

L'uranothorianite se trouve exclusivement dans des pyroxénites et dans les amas de cipolins que ces dernières peuvent contenir. Elle est en lentilles ou plus exactement en amas ou "nuages" de formes très capricieuses aux limites floues. Leurs dimensions est de quelques dizaines de mètres, voir même moins, à plus de 150 ou 200 m. En ne retenant que les concentrations potentiellement exploitables (avec nécessité de broyage de la roche suivi d'une concentration gravimétrique), il est fait mention d'environ une centaine de gîtes, dont les tonnages en minerai tout venant sont de l'ordre de quelques centaines à plus de 150 000 tonnes, à des teneurs variant de 0,1 à 0,6 % en uranothorianite (Lenoble et Gangloff 1958).

Toutes les pyroxénites ne sont pas forcément minéralisées en uranothorianite.

Dans cette bande cisailante mineure de Tranomaro il y a des pyroxénites métasomatiques typiques de skarn, i.e. de granites au contact avec des marbres (voir A-III, lexique pour les termes géologiques).

Les affleurements montrent en général une zonation, sur quelques mètres à quelques dizaines de mètres. Exemple : marbre (± diopside, ou forstérite mais sans graphite et sans grenats) – clinopyroxénite (exoskarn) – scapolite (endoskarn) – syenite à diopside (granite transformé) – granite à biotite (± hyperstène).

(Les clinopyroxènes sont des silicates calciques, du type : SiO₂ : 55,6 %, CaO : 25,9 %, MgO 18,5 % avec un peu de fer; pour une présentation des silicates, voir [là](#) annexe A-1.).

Mais il y a aussi des pyroxénites en corps stratoïdes lenticulaires en suivant les niveaux lithostratigraphiques, dans ces roches silico-alumineuses.

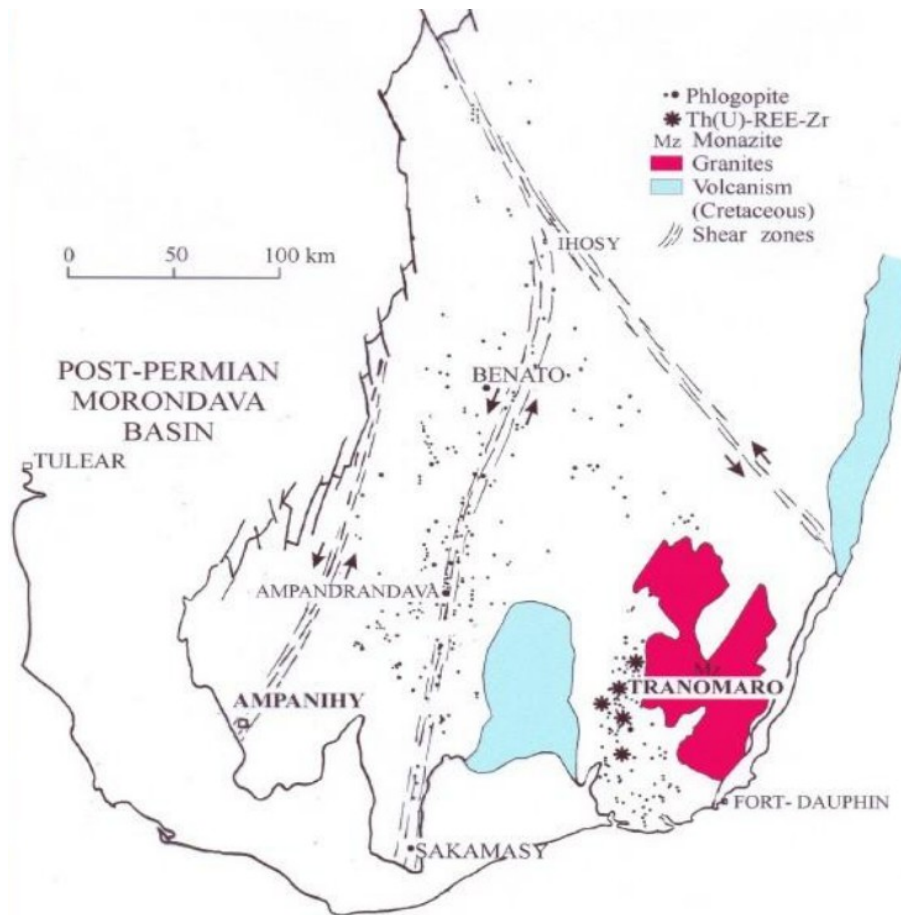


Fig. 20. Carte des gisements de phlogopite (les petits points) et ceux d'uranothorianite (les astérisques). Ont été représentées en petits tirés les trois bandes de cisaillement crustal majeures, oblique NW-SE en haut, passant à Ihosy, la BRHSZ (Bongolava-Ranotsara), à gauche, passant à Ampanihy, la AHSZ, et au centre, Ihosy-Benato-Ampandrandava-Sakamasy : la BHSZ (Beraketa) (issu de Moine, "Synthèse métallogénique" 2008).



FIG.3. Subvertical lens of uranothorianite in pyroxenite at Ambindranakemba. This mineralization has been mined by open-cast methods to depth of 45 m.

Fig. 21-a. Ambindandrakemba, quelques km au NE du village de Tranomaro, veines d'uranothorianite sub-verticales dans de la pyroxénites. Cette minéralisation a été extraite en mine ouverte jusqu'à une profondeur de 45 m (in Premoli 1979, p. 47), c.f. Fig. 18.

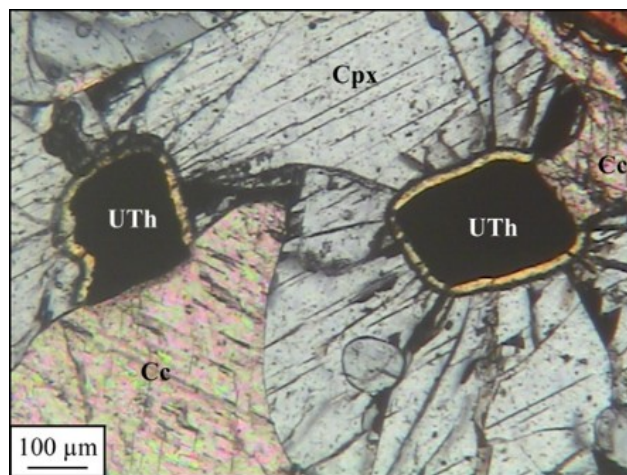


Fig. 21-b. Au microscope optique en lame mince (nicols croisés) grains d'uranothorianite (opaque) dans du clinopyroxène (diopside) alumineux (Cpx) et de la calcite (Cc), skarn de la carrière d'Andranomitrohy, zone de Tranomaro. Il y a une couronne avec minéraux secondaires (ou poreuse pour la calcite) autour de l'uranothorianite formée suite aux dégâts des radiations alpha des Th/U (in Seydoux-Guillaume et al. 2009).

▪ Lorsqu'elle devient très présente l'uranothorianite est disséminée dans la roche en veines pegmatoïdiques. Ses cristaux sont de toutes tailles depuis quelques fractions de millimètres à plusieurs centimètres dans des cas exceptionnels, mais en général très fins. Cette minéralisation est primaire, intergranulaire où en inclusion dans les minéraux cardinaux (Fig. 21-b). La pyroxénite est toujours la roche la plus minéralisée. Il peut y avoir un peu d'uranothorianite dans la scapolite ou le marbre.

- En plus, il y a une deuxième étape de minéralisation, mineure, avec des veines de phlogopite avec calcite, diopside, occasionnellement de l'anhydrite qui coupe la diopside.
- Et en dernière étape il y a des veines de calcite riches en zircons.

Les conditions calculées avec les outils pétrographiques sont sévères, > 700 à 850 °C.

Les skarns qui sont du métasomatisme de contact entre un granite intrusif et une couche de calcaire sont bien compris et présents de tous temps géologiques un peu partout. Ils sont bien présents à Tranomaro. Seulement souvent à Tranomaro il n'y a pas de granite (s.l.) à côté de ces clinopyroxénites minéralisées. Le métamorphisme régional et les minéralisations sont de même âge et à peu près aux mêmes conditions de pression-température. Il reste à penser que ces zones ont alors pu être métasomatisées par le contact des fluides de ce métamorphisme régional. Ces fluides sont (proportionnellement ?) déficients en eau, très riches en CO₂ [rendu par les marbres pour commencer]. La pétrographie indique un fluide particulièrement peu riche en silice (inférieure au dixième de la saturation en quartz dans les conditions établies ; silice qui est d'autant moins soluble qu'il y a peu d'eau ; et la pauvreté en silice est due aux marbres) et très riche en fluor. Lorsque la phlogopite est présente, elle a très peu d'hydroxyle OH (composante normale des micas), remplacé par le fluor. La phlogopite de cette zone de Tranomaro est parmi la plus riche en fluor qui soit connue.

Le rapport thorium-uranium entre 2 et 3 dans cette uranothorianite est proche de celui de la croûte terrestre. Il n'y a donc eu ni enrichissement, ni appauvrissement relatif (alors que c'est presque toujours le cas dans les minéralisations). L'interprétation actuelle est que c'est la température élevée et le fluor (via des complexes comme ThF₂²⁺ ?) qui doivent expliquer aussi bien le transport d'éléments peu mobiles comme le thorium, le zirconium et terres rares (ces derniers dans les dernières étapes), qui a donné ces amas, mais cela donc au sein d'un système qui n'était pas ouvert.

▪ C'était aussi la conclusion de Majmundar (1962, p. 112- 115) : « ... travaux... de H. de la Roche et J. Marchal... les charnockites* et les pyroxénites appartiendraient à la même série. Du point de vue géochimique, le thorium est abondant dans cette série. Dans les pyroxénites il est associé à l'uranium (urano-thorianite). Dans les charnockites il est associé au cérium (monazite). », et parlant de la composition des pyroxènes eux-mêmes qui est inhabituelle, (très riches en Al notamment) « ... ces pyroxénites ont-elles conservé, à travers les recristallisations métamorphiques, un stock d'éléments introduits lors du cycle sédimentaires selon l'hypothèse formulée à propos de U et Th par divers auteurs. » ; « L'ensemble de ces caractères géochimiques très particuliers doit être relié à la présence de concentrations locales de

phlogopite et d'urano-thorianite, » ;« C'est ainsi que la métasomatose et la granitisation, très développées dans le Sud de Madagascar, semblent déplacer et remanier certains éléments mais non pas les introduire comme on aurait pu le croire à priori. ».

* charnockites définies [là](#) en annexe A-2-2.

▪ Les importants gisements de phlogopite géante vus plus avant en § I-2-4. se trouvent le long de la grande zone de cisaillement crustal *Beraketa high shear Zone*, BHSZ, de Sakamasy à Ihosy qui passe en Nord-Sud à l'Ouest du complexe Androy crétacé (Fig. 20). Le contexte est très semblable au petit segment de Tranomaro (supposé être une zone cisailante mineure) et pourtant il ne s'y trouve pas d'uranothorianite. Pourquoi ? Là-bas les plus gros gisements pegmatoïdiques de phlogopite sont à cœur de nombreuses lentilles de pyroxénites conformes à la foliation régionale, qui ne sont pas des skarns. A Tranomoro les marbres sont sur place, là-bas ils peuvent être disséminés le long du cisaillement BHSZ qui permettrait ?? la mise en lien latéral ? Mais le BHSZ est aussi considéré comme un cisaillement "majeur" ([là](#) § IV-1-3-4.). Certains auteurs proposent que lui a été en contact avec un fluide carbonaté infiltré du manteau, ce qui ne serait pas le cas à Tranomaro. Les phlogopites y sont fluorées mais pas autant que sur la petite bande de Tranomaro. Moine et al (1998) donnent pour le fluor : < 2,7 % dans les gisements Ouest et 2,7 à 7,1 % dans la bande de Tranomaro, cela y compris dans les biotites des granites associés :

« Ces résultats peuvent expliquer le manque de thorianite dans la zone de Ampanihy. Par contraste, le fluide caractérisé dans la zone de Tranomaro peut transporter de grandes quantités de Th. Une solution en équilibre avec les roches gneissiques et granitiques et contenant quelques dizaines de ppb de Th serait capable de précipiter une quantité significative de thorianite en conséquence d'un accroissement de pH due à sa réaction avec la calcite pour produire du diopside et autres minéraux de skarn. Ces résultats pourraient s'appliquer au transport des Terres rares et Zr et la précipitation des minéraux correspondants. » (...)

« Des fluides riches en Fluor ont probablement été à l'origine des skarns à thorianite... Le thorium, l'aluminium, de même que le zirconium, titane et terres rares étaient probablement véhiculés par des fluides complexes. Ces fluides étaient d'origine crustale, probablement en lien avec les granites comme le montre la composition isotopique des skarns.... La fusion de métasédiments à biotite d'un horizon plus profond peut avoir produit des magmas granitiques riches en fluor. Leur montée et cristallisation comme charnockites aurait relâché les fluides riches en Fluor que l'on suppose de la composition exceptionnelle des micas (X_F jusqu'à 0,8). ».

II-5. Uranium dans les roches sédimentaires, 1958-1963

Les premiers minéraux radioactifs sur l'île (uranocircite \approx autunite) avaient été décrits en 1907-8 dans des sédiments. Ce sont des dépôts fluvio-lacustres récents, Plio-Pléistocène, au Sud de Antsirabé (cf. § I-3-2-1. et § II-2-2-2.).

En 1958 des géologues ont reconnu de la minéralisation uranium et vanadium (Fig. 22. ; carnotite voir A-III, lexique) dans des grès de l'Isalo II (d'âge rhétien-Lias; géologie voir [là](#) § IV-2-1-3.) qui peut être développée sur du bois silicifié. Cela se trouve dans la zone où est le village de Folakara, à l'Ouest de l'île, à une latitude un peu au Nord de celle de Antananarivo et à \sim 80-100 km de la cote Ouest. C'est peu au Sud des zones d'hydrocarbures Belomanga et Tsimiroro vues en § I-4. (quelques à plusieurs dizaines de km) et il semble que les zones se recouvrent en partie.



Fig. 22. Les minéraux secondaires de l'uranium sont colorés. Ici un fin niveau imprégné de carnotite, jaunissant la roche, dans des grès de l'Isalo II, zone de Folakara (in CCIC 2006, Pl. 7)

▪ Le CEA a alors lancé une vaste campagne d'exploration. Scintillométrie aéroportée et radiométrie au sol, géochimie régionale et forages. Ces niveaux sont rarement recoupés sur le terrain (il faut des parois à

composantes verticales) aussi ils ont fait de nombreux petits forages : 1215, faisant une longueur totale de 54 km (surtout sur quelques endroits choisis à une maille de 5 à 50 m), des tranchées. Il a été trouvé que ces imprégnations forment des sortes de disques fins discontinus, qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de km. La concentration n'est pas élevée, atteignant de temps à autre 1 % ou plus, les recherches ont été abandonnées en 1963 (Premoli 1979).

- Une autre zone a aussi été explorée (de 1958 à 1962), surtout par mesures aéroportées vue l'accès souvent d'une extrême difficulté, le massif du Makay, continuation vers le nord du massif de l'Isalo (photo de paysage [là](#), Fig. 42), province du Menabe. Pour situer c'est à l'Est de la petite ville de Manja (piste d'aviation) un plateau Sud-Nord en gros entre les latitudes de Morombay/rivière Mangoky et Morondava, mais à l'intérieur des terres, là où sont ces grès. Vu d'avion ce plateau est comme une peau de reptile aux nombreuses profondes gorges verticales au fond vert dense de végétation, paysage étonnant.
- Comme les USA avaient tiré le gros de leur radium au début du 20^e siècle de carnotite dans des grès, et qu'a été établi un modèle métallogénique dit "Colorado Plateau Uranium Vanadium" deposit, ou CPUV, régulièrement des organismes du ou pour le nucléaire poussent à revisiter ces zones dans l'Isalo. De 1976 à 1982 c'est l'OMNIS malgache sur financement de l'onusien PNUD (sensé travailler à éradiquer la pauvreté) en lien étroit avec l'AIEA (lobby nucléaire mondial) qui s'est re-penché sur la zone Folakara sans conclusions positives; de 1982 à 1984 c'est Minatom, filiale Cogema/CEA, qui a reconsidéré l'Isalo (il n'est pas certain qu'ils aient fait du travail de terrain) et encore en 1990-2000 Cogema/CEA ont revu la partie Sud avec quelques explorations. Ça continue depuis avec diverses compagnies ou "start-up" comme le canadien URAMAD (Randriamananjara 2014).

II-6. La monazite des plages, 1958-1966

II-6-1. Cérium, lanthane et... thorium

La monazite est un phosphate de terres rares. De couleur ambre/résineuse on la trouve comme minéral accessoire dans les roches cristallines (charnockites, granites et pegmatites, certains gneiss et schistes). Quand ces roches sont altérées, ce minéral là comme quelques autres résiste en partie à l'altération et on le retrouve dans les sables le long des rivières et au pied de ces massifs avec d'autres "minéraux lourds" (sa densité est d'environ 5), ce qu'on appelle placers (pour les termes géologiques voir A-III, Lexique). Jusqu'en 1965, la monazite était la principale source commerciale des terres rares (cérium, lanthane..., cf. Annexe A-I-1.) et ces placers sont la seule source économique de monazite. Ils sont présents dans pas mal de pays du monde.

En dehors des minéraux de collection des pegmatites, la monazite de Madagascar a déjà été exploitée entre les deux guerres, en placers de rivières de montagne (§ I-3-3). Cela représentait quelques tonnes/an.

Mais la monazite est aussi presque l'unique minerai commercial de thorium (car il se trouve que l'uranio-thorianite est une occurrence rare), élément qu'elle peut contenir en plus ou moins grande quantité parce que son comportement chimique est apparenté à celui des lanthanides. Et il se trouve que cette monazite est, comme au Kérala, une riche en thorium, 7 à 9 % en ThO₂ soit 6 à 8% Th (Overstreet 1967, tab. 5 p. 38). C'est, pour le thorium, comparable au minerai le plus riche connu en uranium (Cigar lake au Canada, teneur moyenne ~ 8%). Par comparaison, la teneur moyenne des minerais d'uranium français était de 0,2 % soit 35 fois moins que ne l'est en thorium la monazite du Sud-Est Malgache une fois qu'elle a été concentrée. Or le thorium est matière nucléaire... (§ II-4-1.).

On a vu en § II-3-2. que le CEA et la Commission Indienne de l'énergie Atomique étaient en relation et cherchaient à échanger savoir et matières. Finalement c'est la Société des Terres Rares, STR/Pechiney (cf. Annexe A-I-2.) qui a le contrat de construire une usine du crackage de la monazite. Cette usine, IREL, Indian Rare Earths Ltd à Aluva/Alwaye dans le Kerala a été inaugurée par Nehru le 25/12/1952 (fermée en 2004). Elle va sortir déjà les terres rares, mais sera aussi associée à une unité de purification du thorium au centre atomique de Trombay (Bombay-sud), officiellement au départ pour des manchons à gaz mais bien sûr pour les recherches sur le programme nucléaire naissant. L'Inde a mis des crayons de combustible Thorium dans une paire de petits réacteurs de recherche (surtout dans Cirus, 40 MWth à l'uranium métallique eau lourde à Trombay, 200 crayons en périphérie entre 1960 et 2010 pour faire de l'U233).

A cause de ce thorium, et d'uranium aussi en moindre proportion, et leurs descendants, ces monazites là sont radioactives, avec notamment le rayonnement gamma dur du thallium-208. Lorsqu'on parle du Kérala, dont certaines "plages", en fait comme on va le voir dans l'exemple de Tolagnaro en § II-6-3, certains endroits précis de certaines plages, ou certains niveaux intérieures de dunes, sont nettement plus radioactives que la

moyenne, c'est du à la monazite (+ zircon). La CRIIRad indique dans son manuel d'utilisation du Quartex (1995 p. 24) que les débits d'équivalent de dose à 1 mètre du sol là où le sable est particulièrement riche en monazite au Kérala peuvent atteindre 0,85 µSv/h voir 5 µSv/h. Pour référence, la radioactivité naturelle moyenne en terrains sédimentaires est souvent de 0,11 µS/h.

Les terrains du Sud de l'Inde, de Ceylan et du Sud Malgache étaient accolés au Gondwana (là Fig. 17) c'est pourquoi on y trouve des minéraux semblables, des sables à monazite, aussi des placers à corindons-gemmes (rouge=rubis, bleu=saphir).

II-6-2. Le duo CEA-Pechiney, la Sotrassum

Ndong (2012, p. 280) :

« ... sables à monazite sur les plages de l'Océan Indien. Minerai contenant du cérium, lanthane, la monazite intéresse, après 1945, les atomistes mondiaux pour un éventuel développement d'une filière de réacteurs au thorium. »

Le CEA mentionne la présence de monazite en placers exploitables industriellement sur les plages dans les environs de Toalagnaro/Fort Dauphin pour la première fois en 1952-1953 donc en même temps que la découverte de l'uranothorianite. Rasoamampianina (2006) cite un article dans *L'information* de 1954 :

"Madagascar en passe de devenir un des gros producteurs mondiaux de thorium métal radioactif indispensable à l'ère atomique" par J. Roume (qui écrira en 1962, un gros livre, "Essor de l'industrie française").

Overstreet (1967, p. 39) :

"Les sables de plage, à un endroit qui s'appelle l'abattoir du côté Ouest de Toalagnaro/Fort Dauphin... ont été extraits et traités à partir de 1954 par la société des monazites de Madagascar... Les terres rares et le thorium étaient séparés de la monazite, les terres rares allant à la compagnie et le thorium au CEA."

Parce que anecdotiquement, c'est un petit industriel civil, spécialisé dans les articles pour fumeurs, qui cherchait lui du cérium pour faire ses pierres à briquet, qui va commencer l'exploitation de ces sables. Ndong (2012, p. 280) :

1953-54 : « **Détenteur des droits sur les substances utiles à l'énergie atomique, le CEA ne souhaite pas exploiter directement en raison des difficultés financières qu'il rencontre. Il amodie donc ses permis à un industriel français de Pargny-sur-Saulx (Marne), Jean Tricot, fabriquant de pierres à briquets à base de cérium, qui recherche de nouvelles sources d'approvisionnement en monazite (Archives du CEA, R. Bodu et A. Gangloff, Madagascar et l'industrie nucléaire française, document établi en 1995, p. 4). Dans le contrat passé entre les deux parties, la société d'exploitation des monazites (SEMO), fondée par J. Tricot, s'engage à fournir au CEA le thorium qu'il extraira de la monazite. En 1955, une petite usine comprenant tables à secousses et séparateur électromagnétique est mise en route (Bodu et Gangloff p. 5). »**

La "Sté d'exploitation des monazites" est une S.A créé en 1954 dont le siège social est à Fort-Dauphin. Ses correspondants à Paris sont les "Ets Tricot, 17, rue Béranger, 3^e - ARC 00-08". Son Conseil est constitué de "Mme G. Tricot, P; Jean Tricot; Christian Mignot". Son capital en 1963 est de 7,5 MF-CFA (site "entreprises-coloniales.fr, ici). Cette société doit quitter Toalagnaro/Fort Dauphin fin 1963 pour un gisement reconnu par le CEA dans les années 1950 : "le gisement de Vohibarika, assez près de Manantenina" (Murdoch 1963, p. 89; sur les cartes Manantenina est à presque 90 km, Isandravinang à ~ 120 km à vol d'oiseau au Nord de Tolagnaro/Fort Dauphin).

J.J. Lecoq du CEA publie en 1957 dans la revue industrielle, commerciale, technique et financière *l'Écho des mines et de la métallurgie* (n°3509, p. 591-4) : "Une perspective minière nouvelle à Madagascar : les sables à monazite". Lenoble et Gangloff (CEA 1958 p. 16-7) : "Les monazites sont une source de thorium, c'est à ce titre que nous les mentionnons ici... Certaines de ces plages sont déjà en exploitation. »

Finalement arrive Pechiney. Ndong (2012, p. 281) :

« en 1958, le CEA constitue avec la Compagnie Pechiney, la société de traitement des sables du sud de Madagascar (SOTRASSUM) pour exploiter les dunes côtières d'Antete à environ 30 km au sud-est de Toalagnaro/Fort Dauphin. L'usine de traitement est mise en service en août 1959... elle sépare... les différents minéraux pour produire jusqu'à 600 à 800 tonnes par an de concentrés à 95 % de monazite (et des sous produits d'ilménite et de zircon pratiquement invendables).»

Euratom (1958, p 56) :

« ... formation d'une nouvelle société, filiale du CEA, dont les installations produiront de la monazite thorifère du zircon et de l'ilménite. La monazite sera traitée dans la métropole par des entreprises qui rétrocéderont le thorium au CEA sur sa demande. »

L'apport du CEA au capital de Sotrassum par décret du 17/12/1957 a été de 50 millions de francs (J.O. 22/12/57, Présidence du conseil). En 1957 le CEA a son budget à 100% sur le fond public : 86% (774 MF) de subventions directes d'État et 14% du Fond de Développement Économique et Social (F.D.E.S; 130 MF; Ginier 1965, p. 18). Selon la liste 1963 des sociétés industrielles de la Documentation africaine et Madagascar, la Sotrassum est une SA au capital de 50 millions de francs-CFA, constituée de : "*CEA, Pechiney par Sté de développement chimique, Cégépar* par Cie générale de participations industrielles et financières*" (site "entreprises-coloniales.fr, [ici](#)). Comme le nouveau franc qui vaut 100 anciens francs a été institué le 01/01/1960 → 50 MF sont devenus 500 000 F; le CFA est à parité fixe, 1 F-CFA = 0,02 F ou 1F = 50 F-CFA; 500 000 × 50 = 25 millions de F-CFA → il apparaît qu'en 1963 le CEA détenait la moitié du capital de la Sotrassum. Par arrêté du 21/07/1964, le CEA reçoit le feu vert pour compléter sa participation au capital de Sotrassum de 400 000 francs (J.O. 12/08/64 p. 7435, Ministère d'État de la Recherche et questions atomique). Cela fait 20 millions de F-CFA rajouté par le CEA au capital de la Sotrassum.

* la CEGEPAR est l'une de ces quelques grosses compagnies qui ont exploité la colonie de Madagascar, liée à la banque de Paris -Pays-Bas, actionnaire de la Cie Lyonnaise de Madagascar, CLM. Elle était initialement surtout pour les produits agricoles (Nosy Bé, culture sur la feu exploitation Suberbie...), au moins par les C.A. on la retrouve en plus un peu dans tout, imprimerie, assurance, fûts métalliques, charbon de Sakoa...

Murdoch (1963, p. 988) :

*"Le producteur majeur de monazite est la société de traitement des sables du Sud de Madagascar (SOTRASSUM)... **Le CEA prend le thorium alors que Pechiney prend les terres rares** contenus dans la monazite. La Sotrassum exploite depuis 1959 un gisement dans des vieilles dunes à Antete 40 km au Sud Ouest de Toalagnaro/Fort Dauphin. Par forages rapprochés et échantillonnages il avait été prouvé qu'il y avait presque 4 millions de tonnes de sables avec une moyenne de 2 à 2,55 % de monazite et environ 50% de minéraux lourds incluant ilménite et zircon. En 1963, seule la monazite est mise sur le marché, l'ilménite et le zircon étaient stockés sur l'installation."*

Ndong (2012, p. 281) :

*En 1967, malgré une production supérieure à 800 tonnes de concentrés par an, la SOTRASSUM cesse son activité. **Car l'énergie nucléaire abandonne le thorium** et Pechiney recherche d'autres sources d'approvisionnement en monazite plus riche en europium et yttrium, terres rares susceptibles de l'intéresser pour le développement de la télévision en couleur. »*

Les statistiques (minérales américaines) relevées sont imprécises en quantité et origines. Nous avons relevé pour la monazite les mini et maxi suivants (tonnes), en général donnés comme production de la république de Malagasy ou export :

1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967
65-72	168-178	183-334	137-138	122-155	427-471	456-503	376-702	615-756	964-1063	1085-1196	850-937	25-27

Sans détailler ici, en reconstituant l'historique, on peut estimer que la petite société privée Tricot pourrait avoir produit du genre 50 t/an tant qu'elle est à Fort Dauphin (8 ans), 270 t/an à "Vohibarika" (3 ans) soit quelque chose dans l'intervalle de 1000 à 1400 tonnes.

Les CEA-Pechiney pourraient avoir produit ~ 120t (4 ans) puis 400 t (3 ans), puis 650, 700, 800 et 620 t soit quelque chose dans l'intervalle de 4000 à 5000 tonnes de concentré de monazite thorifère.

II-6-3. Minéraux lourds dans les sables (technique)

L'histoire commence dans les montagnes, Majmundar (1962 p. 113 et 93) :

« Les charnockites, roches granitiques à hyperstène dont le démantèlement par l'érosion est à l'origine de l'accumulation de monazite et d'ilménite dans les sables littoraux. »

« ... la richesse non moins remarquable de l'extrême Sud-Est de Madagasacar en cérium. Cet élément est abondant dans la monazite, minéral accessoire des charnockites et constituant économiquement important des sables de plage. »

▪ Des cristaux centimétriques de monazites de collection étaient connus du col de Manangotry 35 km à vol d'oiseau au Nord-Ouest de Toalagnaro/Fort Dauphin. Ils sont trouvés dans des lentilles de minéralogie particulièrement simple et inhabituelle constituées de bancs d'apatite jaune pâle (fluoroapatite, avec du Cl) qui peuvent être épais, qui renferment des petites bandes de biotite (assez riche en fluor, 3-4 %, titane aussi,

~ 4 %) qui sont surtout là où est la monazite, avec de l'ilménite et un peu de zircons. L'affleurement se situe dans un granite anosien kaolinisé. Les zircons ont été datés par Paquette et al (1994) à 545 Ma. Le contenu thorium des monazites est le plus souvent élevé, par ex. 12-14 % (jusqu'à 20 %; et 0,1 à 0,5 % U). Elles sont riches en Terres rares légères (ex. 28,7 % Ce_2O_3 et 14,2 % La_2O_3). Les granites encaissants portent eux-mêmes des (petites cette fois) monazites, qui elles aussi sont thorifères (Razafimahatratra et al. 2018).

▪ Les charnockites, granites, pegmatoïdes..., étant très altérés, on retrouve les monazites résiduelles par exemple tout le long de la rivière Ifaho/Efaho qui descend du massif du Manangotry vers le Sud sur 50 km de long, pour rejoindre l'océan indien via une lagune au Sud de Toalagnaro/Fort Dauphin. Au long du cours les grains deviennent plus petits et plus arrondis.

Lenoble et Gangloff (1958 p. 16-7) :

" monazites... Dans les plages, l'épaisseur de la couche exploitable, qui est en général très près de la surface ou même affleure, varie de 3 à 18 m [sic]. Avec la monazite dont la teneur dans le tout venant est de 0,8% , on peut récupérer en moyenne 1 % de zircon et 25 % d'ilménite... le régime des marées, des vents et le profil de la côte provoque annuellement un remaniement naturel des plages et par conséquent un renouvellement des ressources."

Murdoch (1963, p. 89) :

"Parce que le sable noir avec la monazite a été concentré naturellement, les parties riches peuvent être extraites en les ramassant à la surface. On obtient un minerai de haute teneur pour le traitement. Les plages de cette nature sont localisées dans certaines criques/baies. Les réserves ne sont pas importantes bien que du sable peut être déposé pendant les périodes de haute mer et les cyclones. Les réserves de la plage de l'abattoir avaient été au départ estimées à 600 t de monazite. On déjà produit plus de 600 t et le dépôt parait pouvoir en produire encore."



Fig. 23. La baie au Nord de Tolagnaro/Fort Dauphin. Au centre en bas les dunes couvertes de végétation. En arrière plan sont les montagnes anosiennes des charnockites et granites, i.e. ces dunes continuent derrière entre les deux avec des quantités exploitables de minéraux lourds. A droite : lors de recherches, en forages ou sur coupe fraîche, dans les dunes les plus riches il y a parfois des niveaux noirs à cause de la quantité d'ilménite (photo Tsiamidy 2011).

▪ Les grains de quartz, composante majeure d'un sable, ont une densité de 2,65, idem pour les feldspaths s'il y a (ils s'altèrent beaucoup plus vite). En minéraux lourds il y a le grenat, densité 3,5 à 4,3, l'ilménite et le zircon, densité moyenne 4,7, la monazite, densité 5 à 5,3.

L'ilménite, oxyde de fer et de titane est toujours de très loin le principal des minéraux lourds, du genre 70 %. Or c'est un minéral opaque, c'est elle qui donne des nuances grises à ces sables (Fig. 23.). Ensuite en ordre d'abondance dans cette région c'est le zircon (du genre 17% des minéraux lourds), puis la monazite et le grenat à sub-égalité 12-15 % des minéraux lourds (Lafond 1958, p. 539).

Murdoch (1963, p. 102) :

"A cause de la finesse des minéraux lourds, un simple tamisage à mailles 80-100 permet de retirer presque tout le quartz et ne fait perdre que 10 à 20 % de l'ilménite. On obtient un concentré à 65-75 % de minéraux lourds et 2,5 à 4 % de monazite. En combinant des spirales de Humphrey et des tamis on obtient une pré-concentration de 95 % de minéraux lourds dont 5 à 6 % de monazite. Dans les minéraux lourds, il y a 5 à 10 % de grenat qui est difficile à séparer de l'ilménite. Il y a aussi 1 % de spinelle qui est difficile à séparer de la monazite."

Les spirales de Humphrey sont des sortes de toboggans de forme hélicoïdale. Durant le trajet du mélange sable-eau les grains lourds ont plus de frottement vont moins vite et finalement sont plus concentrés vers le centre de la spirale quand l'eau arrive en bas.

Une deuxième concentration est faite sur tables à secousse

Cela doit être réalisé à l'eau douce donc pris dans une rivière (sans quoi lors de la séparation électromagnétique un peu de monazite reste avec l'ilménite ce qui donne un minerai en teneur en phosphore assez élevée).

Ensuite le concentrât est séché.

L'ilménite (conducteur) est séparée des {monazite + zircon} (surface non conductrice) avec des séparateurs électriques haute tension par électrostatique (les particules non conductrices en surface maintiennent une charge électrostatique de surface induite électriquement et restent collées à un tambour chargé par exemple, alors que les autres tombent).

La monazite a une susceptibilité magnétique (dite paramagnétique, parce que les électrons de la couche 4f des terres rares ont des moments magnétiques qui ne s'annulent pas) et peut être séparée du zircon qui n'en a pas, avec des aimants forts. Cela produit un concentré à 90-95% de monazite.

"... usine... à Antete suivant le schéma suivant : - alimentation en sable tout venant par voie Decauville et wagonnets; - première concentration des sables lourds par spirale Humphrey (8 groupes de spirales en parallèle avec pour chaque groupe 3 à 5 spirales en séries et en parallèle); - deuxième concentration sur trois tables à secousse à la sortie des spirales; - séchage; - séparation électromagnétique par un premier séparateur à bandes croisées qui enlève l'ilménite, et par un second séparateur à disque qui sépare la monazite du zircon." (Andriambololona 1980, p. 31), "L'électricité est fournie par un générateur diesel 90 kilovolt-ampère." (Murdoch 1963, p. 90)

Ce schéma peut être compliqué à souhait pour séparer les grenat par ex. et retraiter chaque extrait pour arriver à des taux de pureté supérieur à 99%. Mais au moins au début à Tolagnaro/Fort Dauphin

"l'installation n'utilise pas de séparateur électrostatique parce que le taux important d'humidité de l'air empêche un fonctionnement effectif" (Murdoch 1963, p. 90).

- Le concentré de monazite est évidemment beaucoup plus irradiant que le sable de départ. Pillai (2007 p. 201) indique pour le sable semblable du Sud de l'Inde que "le champs de radiation" qui est de 0,5 à 5 $\mu\text{G/h}$ pour le sable brut passe à 180 à 250 $\mu\text{G/h}$ pour la monazite extraite (multiplié par plus de 70 fois).

- Note annexe : Le port de Tolagnaro exportait les balles de sisal (Agave Sisalana, fibres pour cordages, ficelles, tapis...) produit par 6 immenses plantations (20 000 ha, 6000 ouvriers) le long de la basse vallée du Mandrare qui est en zone sèche 70 km plus à l'Est (implantées en 1935, elles avaient reçues des aides du plan Marshall au début des années 50, sous forme de matériel agricole américain lourd qui a permis d'étendre les exploitations, pour les propriétaires vazaha; ex. l'une est passée de 20 t en 1949 à 600 tonnes en 1964 (Jolly, 2004 p. 131).

● Rio Tinto veut le titane mais pas le thorium

La monazite, en tout cas celle thorifère, est gênante de par le thorium et ses fils. Depuis mars 2009 la société QIT Madagascar Minerals (QMM) détenue à 80% par Rio Tinto et 20% par l'État malgache a démarré l'exploitation à très grande échelle (100 000 t/an) des mêmes sables de Tolagnaro (dunes anciennes en arrière pays de la plage Nord, Fig. 24). Elle a sécurisé de l'État des droits sur 6000 hectares en trois endroits différents qu'elle va exploiter l'un après l'autre. C'est pour le titane, l'ilménite étant envoyée par bateau à Sorel-Tracy, usine Rio Tinto sur le Saint-Laurent au Québec, et accessoirement le zirconium. La monazite forcément séparée avec les autres minéraux lourds est remélangée avec la majorité siliceuse du sable remise dans les dunes...



Fig. 24. Exploitation de l'ilménite et zircon des sables de Tolagnaro par QMM, filiale Rio Tinto : les trous de la mondialisation (photo reportage Zone Australe Production 2013)

II-7. Le devenir du minerai malgache en France

II-7-1. L'usine du Bouchet, chimie, métallurgie, réacteurs atomiques...

▪ En 1947 est inaugurée dans l'Essonne une usine de préparation de l'uranium au Bouchet (elle sera définitivement fermée en juillet 1971). C'était un confortable terrain militaire, une poudrerie, 40 km au S-SE de Paris, sur la commune d'Itteville mais tout contre à l'Ouest de la ville de Ballancourt-sur-essonne, et peu au Sud de la ville de Vert-le-petit. L'installation est sous-traitée à la Société des Terres Rares, STR, et se fait dans des bâtiments réquisitionnés de la poudrerie (pas de construction ; le reste de la poudrerie encore vaste se spécialisait parallèlement dans les propergols solide, notamment avec des chimistes allemands recrutés après guerre). La STR a commencé les travaux en juillet 1946, l'unité est prête pour début 1947 et la STR devait faire des essais pour trouver un moyen efficace de produire l'uranium métal. Le tout jeune CEA prendra en charge l'installation en juillet 1948. Il y a cette année 1948 au CEA-Bouchet ~ 90 agents (456 en 1960), 13 % étaient ingénieurs ou cadres (Blaizeau 2012, p. 155-62).

F. Joliot avait personnellement décidé que la purification de l'uranium serait confiée à la Société des Terres Rares/Pechiney sur la base des techniques de purification par solvant ramenées d'Amérique par B. Goldschmidt (Pinault 2000, p. 348).

▪ Au départ le concentré d'uranium était compté. Ils avaient les 8 tonnes prêtés par l'Union Minière du Haut Katanga, 2 t qui avaient traîné dans un wagon pendant la guerre. Fin 1948, dans l'Union Française dont la Madagascar et l'hexagone, au bout de 2 ans les prospecteurs devenus CEA avaient rassemblé 10 tonnes.

▪ « *Pour les premiers traitements, la matière première était constituée par quelques tonnes d'oxyde U_3O_8 rassemblé par Joliot Curie à la veille de la guerre... Ensuite on traita un lot d'uranate de soude d'origine belge puis des minerais riches (3 à 10 %) et enfin les concentrés livrés par les usines de concentration de l'hexagone [et avant cela les premiers grattages de Madagascar]. Le traitement des minerais connu un nouvel essor à partir de 1957 avec l'arrivée de l'uranothorianite de Madagascar.* » (Sauteron 1989).

▪ Il faut alors une usine chimique, de la chimie radioactive sur métaux lourds. Le premier traitement d'un minerai brut, au Bouchet, est une dissolution à l'acide nitrique à chaud pour extraire l'uranium sous forme nitrate. Puis avec du carbonate de soude les métaux précipitent sous forme carbonate, celui d'uranium surnageant car il est soluble, pas les autres. Il est précipité en uranate de sodium jaune-orangé avec l'ajout de soude caustique. Ensuite il faut changer de bâtiment, il ne faut plus de poussières pour la purification. Là il faut redissoudre l'uranate avec de l'acide nitrique. Intervient alors un solvant organique, méthode ramenée d'Amérique par B. Goldschmidt qui dirige le département de chimie du CEA de 1946 à 1959 (ils ont utilisé l'éther, puis l'hexone (méthyl-isobutyl-cétone), puis le phosphate tributylque dilué dans du white spirit; Huet 1961). Après brassage vigoureux le nitrate d'uranium fait complexe avec le solvant, qui est séparé. Le nitrate d'uranium est ressorti du solvant à l'eau pure. Au début ils l'ont précipité à l'eau oxygénée pure qui correspond à une purification supplémentaire, on obtient alors le peroxyde d'uranium. Il semble que à l'époque de ZOE, cet uranium partait à Chatillon. Là (après un pastillage probablement, au Bouchet ou à Chatillon) l'oxyde a été calciné à 400°C et réduit partiellement par de l'hydrogène, puis il est fritté en pastilles pour combustible à 1500°C sous haute pression dans des fours construits pour cela (densité 8 à 9). Ces pastilles d'uranium naturel purifié en oxyde sont empilées dans des barreaux d'aluminium de 70 mm de diamètre, long de 1,8 m = combustible de ZOE. Le fait qu'il y ait de l'oxygène (c'est un oxyde) n'est pas l'idéal mais c'était pour montrer le plus vite possible aux politiques une pile atomique sans avoir à attendre que le problème du raffinage en uranium métal soit résolu en France (Pinault 2000 p. 359).

• Parallèlement à la fabrication de ce combustible uranium, en 1947 le CEA construit donc au Fort de Chatillon la "pile" ZOE (ou E11) pour laquelle ce combustible est fabriqué. C'est une copie à la même échelle de la pile canadienne ZEEP construite à Chalk River, ce qui s'était fait sous la co-direction de L. Kowarski. Et c'est lui aussi qui dirige celle de ZOE. C'est un type de pile à eau lourde. ZOE diverge le 15 décembre 1948. Elle est dans un hall de 20 m par 20 m et de 17 m de hauteur, le cœur est formé de 2 tonnes en pastilles d'oxyde d'uranium UO_2 en barreaux comme vu ci-dessus insérés verticalement dans une cuve d'aluminium de 1,91 m de diamètre et 2,35 m de hauteur, remplie de 6 tonnes d'eau lourde. Il y a par ailleurs un réflecteur en graphite artificiel de 100 tonnes autour de la cuve, le tout entouré d'un mur de béton de 1,5 m d'épaisseur. La marche est contrôlée par deux jeux de barres de cadmium. Il n'y a pas de système de refroidissement (la puissance est limitée à 5 kW), c'était essentiellement un objet de démonstration (la puissance augmentera un peu lorsque le combustible sera de l'uranium métallique).

▪ 1948 est une année de remous au CEA. En mars A. Savornin qui était dans les années 1930 au service des mines de Madagascar démissionne de la DREM, il semble qu'on lui reproche ses méthodes de direction (c'est un X, il n'aime pas les syndicats). C'est le professeur de géologie à Nancy Marcel Roubault qui le remplace à ce poste. En même temps Auger s'en va (pour la direction du département des sciences exactes et naturelles de l'UNESCO), il avait du mal à se trouver subordonné de F. Joliot. Puis le secrétaire général L. Denivelle est poussé vers la sortie par J. Guéron, B. Goldschmidt et L. Kowarki qui lui reproche d'être entre deux chaises avec Pechiney notamment. Le général Paul Bloch/Dassault part à la retraite remplacé par le général Paul Bergeron, un X qui a fait l'École Sup. d'Électricité et qui sera Président du CASDN, Comité d'Action Scientifique de la Défense Nationale, jusqu'en 1955. Le nouveau Secrétaire Général René Lescop est aussi un X (ing. Génie maritime) proposé par le gl. P. Bergeron, et s'entend avec l'X R. Dautry (Pinault 2000, p. 354-55).

▪ L'usine du Bouchet arrive ensuite à mettre l'uranium sous forme métallique, ce qui va se faire dans un troisième bâtiment. « *Pour celui-ci, il faut passer par l'intermédiaire du tétrafluorure UF₄. Au début, ce sel était préparé en touillant l'oxyde UO₂ avec de l'acide fluorhydrique en solution aqueuse dans des cuves ébonitées, ce qui donnait ensuite d'interminables filtrations, lavages et séchages... et un produit médiocre. Ce dernier était réduit en métal par calcimétrie, opération fort appréciée pour son feu d'artifice spectaculaire, mais non irréprochable sur les plans du rendement et de l'hygiène.* » (J. Sauteron 1989), Fig. 25.

L'emploi d'eau oxygénée revenait cher, au Bouchet il a été abandonné pour de "l'ammoniacale de qualité courante" ce qui redonnait de l'uranate d'ammonium. Et désormais la suite se faisait au Bouchet, calcination de l'uranate en trioxyde d'uranium UO₃ (initialement il y avait un pastillage avant, puis en passant à des fours horizontaux type "comessa", il a été supprimé). Dans un autre atelier, réduction dans un four, puis fluorisation dans un autre four, avant que le CEA ne fasse fabriquer un four en "L" où les deux peuvent être fait en une même étape (Huet 1961). Le tétrafluorure UF₄ partait alors dans un autre atelier pour faire l'uranium métal.

▪ L'acide fluorhydrique essentiel de cette étape est particulièrement corrosif. Il attaque le verre. Il était alors conservé dans des bouteilles en plomb et c'est à cause de lui que les cuves et vannes devaient être à revêtement d'ébonite. L'extraction du fluor se fait dans des cuves cylindriques mobiles d'un mètre de hauteur dans lesquels à UF₄ sont ajoutés des copeaux de calcium métal ultra-pur (technique de la société anglaise ICI en 1942, rapportée par ceux revenus d'Angleterre; Weart 1978) et est mis le feu au mélange. La réaction est rapide (et contaminante), l'uranium métallique liquide au départ se concentre dans un creuset en fluorine placé au fond de la cuve, avec dégagement de vapeurs toxiques.

Le Bouchet a produit sa première tonne d'uranium métal en 1949. La capacité de production a augmenté jusqu'à 1958. En 1958 la capacité s'est stabilisée à 500 t/an (J. Sauteron 1989). Le Bouchet fut le seul à raffiner et fournir l'uranium jusqu'en 1959, date de la mise en service de Malvési.

● Par ailleurs avait été construit au Bouchet en 1949 un laboratoire de chimie pour extraire le plutonium. « *Enfin, le 20 novembre 1949, 4 milligrammes de ce précieux élément ont pu être isolés sous forme d'iodate. C'était un dimanche, car Goldschmidt n'avait pas pu attendre jusqu'au lundi. Ensuite, avec Kowarski, qui avait assisté à la naissance, nous sommes allés tous ensemble à Sceaux chez Frédéric et Irène Joliot curie pour leur présenter le bébé.* » (J. Sauteron 1989). Jacques Lafuma du CEA, lors d'une audition publique en 1996 (in Crié et Rivasi 1998, p. 152) : "... les dosimètres ont été introduits au CEA au début des années 50... Je connais personnellement des leucémies parfaitement radio-induites... La première leucémie a touché M. Echer, qui était directeur de la technologie, et qui a scié à la main le premier élément combustible sorti de la pile Zoé pour pouvoir en extraire le plutonium."

▪ Aussitôt suite à ZOE la construction d'un autre réacteur avait été lancée, toujours sous la responsabilité de L. Kowarski (qui partira ensuite au CERN en 1954; en 1977 il déposera contre le projet de Superphenix lors de l'enquête publique), Jacques Yvon et d'autres : à Saclay, E12, même structure de base à 4,7 t d'eau lourde cuve d'aluminium entourée de un mètre de graphite le tout dans un épais caisson de béton, diverge le 27 octobre 1952. Nettement plus complexe à cause d'un système de refroidissement par gaz carbonique sous pression, il a le premier accident en mars 1953 : rupture du circuit de gaz comprimé et des barres du cœur endommagées et il faudra des mois pour réparer (ils réalisent alors qu'il "faudrait" des filtres aux cheminées...). E12 utilise 3 tonnes d'uranium naturel métal en 136 étuis en magnésium de 2,15 m de long verticales dans la cuve. Les échantillons à irradier sont eux dans des canaux horizontaux dans le graphite jusqu'en bordure de la cuve.

▪ En 1953 est découverte l'uranothorianite de Madagascar dont l'exploitation générale commence disons en 1955.

- En janv. 1956 à Marcoule le CEA a mis en service la "pile" G1, 120 tonnes d'uranium (Fig. 25). Elle va essentiellement "servir de leçon" : surchauffe des barreaux d'uranium dont l'un éclata, arrêt dès novembre pour un an, puis gainage qui refuse de se détacher qui mettent d'entrée hors d'usage l'atelier télécommandé tout neuf. Il a fallu les envoyer en Angleterre... G1 a été vanté dans les médias comme produisant (théoriquement...) de l'électricité « *mais pratiquement jamais un seul kilowatt ne fut débité sur le réseau* » les gaz n'étant pas assez chauds (J. Goujon in Sciences et avenir n°135, mai 1958).

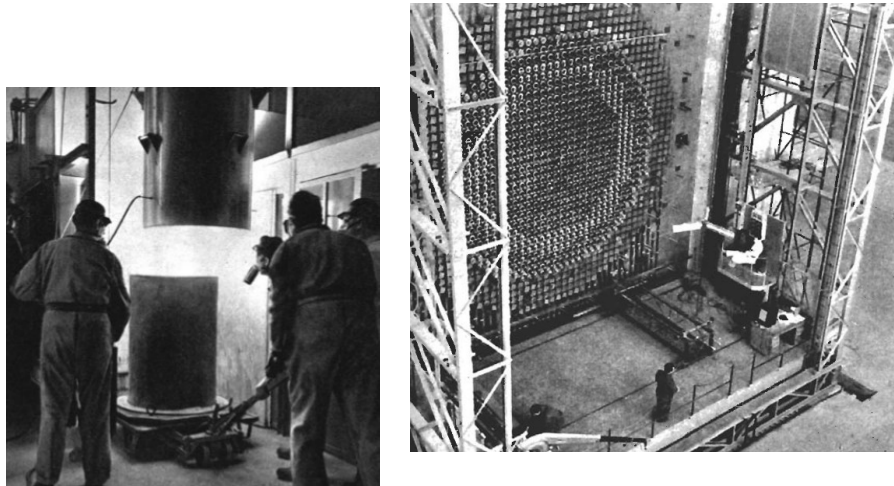


Fig. 25. A gauche, réduction de l'uranium à l'état métallique à l'usine du Bouchet (Sciences & Avenir n°98, avril 1955, [là](#)) ; à droite Pile G1 du CEA à Marcoule, 120 tonnes d'uranium en 1200 canaux, qui démarre en janv 1956; la personne en bas donne l'échelle (Science et avenir mai 1958).

- En 1956 est construite une usine pour ce minerai spécifique qu'est l'urano-thorianite de Madagascar, Fig. 26., (brochure du site du Bouchet, Huet 1961) :

« En 1956 également fut érigé l'Atelier de traitement de l'uranothorianite minerai très riche à la fois en thorium (50%) et uranium (15 à 20 %), provenant de Madagascar. Cette installation perfectionnée depuis, place la France au premier rang de la production de sels de thorium dans le monde. »

puis :

« Le minerai d'uranothorianite provient de Madagascar. Il est pratiquement le seul minerai encore traité au Bouchet. Il présente l'intérêt de contenir en grosses quantités les deux métaux qui sont des combustibles nucléaires naturels : l'uranium et le thorium. On sait en effet que le thorium possède la propriété de se transformer en matière fissile (uranium 233) par irradiation dans une pile... Le but du traitement est la fois la production de sels de thorium de pureté nucléaire – surtout de nitrate cristallisé – et la fabrication d'uranate de sodium. »

"A l'usine du Bouchet en France, on utilisait une solution à 33% volume de tributyl phosphate (TBP) dans l'extraction combinée de thorium et d'uranium d'une solution d'acide nitrique de minerai d'uranothorianite." (Los Alamos 1995, p. 153).

L'uranothorianite concentrée sur place dans les rivières de l'Androy, était très riche en thorium dont certains fils émettent de puissants gammas. Au Bouchet :

« ... effluents liquides. Pour obtenir du radium au pied des colonnes d'extraction, on précipitait le sulfate de plomb. Le radium était entraîné avec le plomb. On rejetait l'eau dans un cours d'eau : 1) d'une part, après neutralisation et filtration, le liquide qui restait, avec un peu de radium; 2) d'autre part, après dilution, les eaux-mères de filtration d'uranate et de thorium hydroxyde [Braun 58]. Il semble que ce cours d'eau était la Juine [BIST ii.64]; » (Davis 2001, p. 167). La Juine est un affluent de l'Essonne.

Le thorium était récupéré sous forme de nitrate *nucléairement pur*, et l'uranium sous forme d'uranate de soude. « Le CEA a estimé en 1967 que l'usine traiterait au total 5 400 t de concentrés physiques pour obtenir 935 t d'uranium et 2 892 t de thorium [CEARa 67]. » (J. Sauteron 1989).

J. Goujon écrit dans Sciences et avenir (n°135 de mai 1958) : « A la différence de l'uranium naturel qui renferme 0,7 % d'U 235, le thorium ne contient pas d'isotope naturellement fissile. Pour construire une pile au thorium, il faut commencer par mettre à ce corps une certaine quantité d'U 235 et, donc, disposer déjà

d'une usine de séparation isotopique. C'est la raison pour laquelle la France ne peut pour le moment utiliser son thorium de Madagascar et en a à vendre une certaine quantité. ».

L'atelier uranothorianite servait ainsi en partie aux américains et anglais ? On verra néanmoins plus loin que l'immense majorité de ce thorium séparé à très grand frais, une décision de l'X-Mines P. Guillaumat, n'a jamais quitté la France.



Fig. 26. Au Bouchet : « Usine de traitement de l'uranothorianite : bâtiment principal et parc de stockage des solutions » (Huet 1961). Le bâtiment fait 1236 m³.

- Jusqu'au lancement de « l'atom for peace » tout à la fin de 1953 par D. Eisenhower, tous ces travaux sont top-secret. Les habitants des environs du Bouchet ne savaient pas ce qui s'y faisait.
- En 1958 démarre une deuxième "pile", G2 (120 puis 150 tonnes d'U métal, accident du même type que G1, plus grave encore, le 14 dec 1959), puis en 1959 d'une troisième presque identique, G3 (120 puis 150 tonnes d'U-métal). Elles ont été construites sous la IV^e République qui changeait de gouvernement tous les 6 mois, notamment grâce à l'action militante des inspecteurs des finances Félix Gaillard du parti Radical et Roger Goetze, par les scientifiques du CEA alors sous l'autorité administrative de Francis Perrin et Pierre Guillaumat pour produire en urgence du plutonium pour faire des bombes atomiques. G2+G3 produiront 2 780 kg de plutonium "qualité militaire". Et le CEA, l'élite et l'armée française ira les faire exploser en Algérie puis chez les Maois sur des atolls du Pacifique.
- Ces "piles" sont à graphite, seul modérateur (il n'y a plus de cuve d'eau). Or il ne s'agit pas de graphite-terre de Madagascar. Ce graphite là doit être d'une extrême pureté déjà pour le bore absorbant de neutrons (< 3 ppm) comme l'avait souligné L. Szilárd en 1940. Il doit donc être fabriqué artificiellement. Cela est fait à partir de combustibles fossiles de gisements choisis (d'USA alors) : coke de pétrole, brai de goudron de houille. La graphitisation est faite vers 2800 °C en présence de fluorures NaF, MgF₂, ± Cl₂ (sa densité est de 1,7). Chaque "pile" G1, G2, G3, en comportait 1200 tonnes. C'est sans compter les chemises de graphite consommables, il y a 1200 canaux et 28 cartouches par canal. Et qui fait cette chimie de haute température ? C'est Pechiney (sous contrôle de J. Guéron), à son usine de Chedde, à moins de 10 km des glaciers de Chamonix.
- Le thorium a été dès le départ et est encore dans certains pays (Canada avec Chine, Inde) étudié en spéculation d'une filière nucléaire au thorium. Il y a eu des réacteurs expérimentaux incluant du thorium 232 et la France a fait des essais. P. de Latil écrivait dans Sciences et Avenir (n°109, mars 1956, p. 132) en décrivant la "pile" CEA G1 ([ici](#)) :

"... canaux demeurés vides. La décision vient d'être prise d'y placer des cartouches de thorium dès que le premiers échantillons de ce métal de l'usine de traitement des minerais du thorium, actuellement en construction au Bouchet et qui doit être terminé à l'automne, aura fait ses premières livraisons de thorium malgache. Le thorium 232 ainsi fortement bombardé par des neutrons deviendra du thorium 233 qui se transmutera ensuite en proactinium 233 puis en uranium 233 par un mécanisme nucléaire exactement parallèle à celui qui se produit dans les atomes d'uranium 238 de l'uranium naturel et qui aboutit au plutonium 239 à travers l'uranium 237 et le neptunium 239. Ainsi obtiendra-t-on dès 1957 assez d'uranium 233 pour attaquer en France des expériences sur le nouveau combustible nucléaire."

Et Davis (2001, p. 19) :

"Le CEA a expérimenté l'irradiation du thorium et en a tiré de l'uranium 233. On a irradié du thorium surtout à Marcoule. Un laboratoire de Saclay a retraité du thorium irradié au moyen du procédé Thorex pour en obtenir de l'uranium 233... l'Atelier pilote de Marcoule a extrait 2 kg d'uranium 233 du thorium irradié à Marcoule."

II-7-2. Où est le thorium et reliquats des CEA-Pechiney ?

II-7-2-1. Nitrates et hydroxydes de thorium

▪ Il y a eu deux sources de thorium exploitées à Madagascar, celle de l'uranothorianite extrait par le CEA de 1954 à 1967, celle de la monazite extrait par la petite entité privée (qui devait le céder au CEA) puis par les CEA-Pechiney (Sotrassum) jusqu'à 1967. Le CEA fonctionnait sur le budget publique.

▪ Davis (2001, p. 19 et 252) : « *Le CEA a vendu à l'étranger une partie du nitrate de thorium produit au Bouchet..., une autre partie, jamais utilisée, est entreposée à Cadarache.* », avec, à Cadarache : « **Le bâtiment 411 abrite un entrepôt de 2 265 t de thorium sous forme de nitrate cristallisé produit par le traitement d'uranothorianite au Bouchet.** Cogéma est propriétaire du nitrate de thorium. Ces composés de thorium « *constituent des matières nucléaires sans emploi* », selon l'Andra, et n'entrent donc pas dans son inventaire des déchets. ». Or (Davis 2001, p. 167) : « *Le CEA a estimé en 1967 [année d'arrêt de l'extraction de l'uranothorianite] que l'usine traiterait au total 5400 t de concentrés physiques pour obtenir 935 t d'uranium et 2 892 t de thorium.* ».

Ainsi 78 % du thorium que le CEA a fait extraire par les Antandroy sans chaussure, trié par les femmes, transport, construction d'une usine spécifique à cela avec la chimie secrète de pointe ramenée des USA est aujourd'hui à attendre dans des fûts de plus en plus irradiants dans des entrepôts.

▪ ASN (2017, p. 78-80) : « *Solvay et Areva sont propriétaires d'environ 8 500 tonnes de thorium, sous forme de nitrates et d'hydroxydes. Ces substances sont entreposées sur les sites de La Rochelle (environ 6 200 t) et de Cadarache (environ 2 300 tonnes).*

Les fûts de nitrate de thorium d'Areva sont entreposés à Cadarache dans l'installation MMB du CEA. Entre 2005 et 2012, ces fûts ont été sur-enfûtés dans des fûts en inox et entreposés avec une pérennité supérieure à 50 ans, sur des palettes métalliques. [c'est ce qui s'appelle des poupées russes...]

Solvay entrepose ses substances thorifères sur le site de La Rochelle. Le retraitement envisagé des 21 700 t d'hydroxydes conduira à les substituer par environ 4 500 t de nitrates de thorium conditionnés en fûts Inox... ["envisagé" depuis un certain temps, sachant de plus que l'Andra ne veut pas de nitrates qui sont solubles et oxydants et voudrait l'inverse...]

... Areva et Rhodia ont conclu qu'un stockage en sub-surface accueillant des déchets de type « radifères » pourrait constituer un mode de gestion possible pour les substances thorifères si le thorium venait à être considéré comme un déchet. ». Et Davis (2001, p. 234) signalait que dans l'inventaire 1997, l'Andra classait l'hydroxyde de thorium parmi la catégorie déchets.

Le thorium que l'X-Mines Pierre Guillaumat a fait sortir de terre à Madagascar va donc probablement être à remettre en terre en France.

▪ Les chiffres 8 500 t, dont 2300 tonnes à Cadarache, sont des estimations poids en l'élément-lourd thorium seul. Dans le nitrate $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$, pur théorique le thorium est pour 48% en poids moléculaire, dans l'hydroxyde $\text{Th}(\text{OH})_4$ 77 %. Les degrés de pureté semblent très variable, il est par exemple mentionné que l'hydroxyde contient de l'uranium et des oxydes de terres rares.

Ainsi les 6 200 t Thorium annoncés pour La Rochelle sont sous forme de 20 000 à 21 700 tonnes d'hydroxyde de thorium, suivant les écrits, et ~ 11 000 tonnes de nitrate de thorium.

La majeure partie du thorium de Solvay, qui a remplacé Rhodia-Terres rares qui a remplacé Rhône Poulenc qui a remplacé Pechiney qui a remplacé la Société des Terres Rares, STR, ne vient pas de Madagascar puisque postérieurement à l'arrêt de l'exploitation de la monazite de la grande île, l'usine de La Rochelle a décuplé sa production et n'a arrêté le traitement de minerai radioactif qu'en 1994. Mais il y a du thorium de Madagascar dedans.

▪ Radioactivité de la famille du thorium-232

« *La dose à la surface d'un fût de 200 l d'oxyde de thorium est approximativement 60 mR/heure, environ 13 fois plus haute qu'un fut d'uranium de taille similaire.* » (Alvarez 2013, p. 57). En fait elle peut varier assez vite. Le thorium-232 à 11 fils (voir [là](#) fig. 4).

Lorsque la période du "père", Th 232 ou U 238, est très nettement supérieure à celle des "fils", les activités des différents "fils" se mettent à l'équilibre avec l'activité du père. On parle de "**l'équilibre séculaire**" qui par définition (*équilibre*, le séculaire apportant simplement l'idée qu'un certain temps est nécessaire) signifie que tout le monde dans la famille a la même radioactivité. Cet équilibre est atteint en un temps égal à 10 fois la période la plus longue parmi les "fils" mais il l'est déjà à plus de 90% au bout de 5 périodes. Pour la famille du thorium 232, c'est la période du radium 228 qui est la plus longue des "fils" avec 5,75 ans $\rightarrow \times 10 \approx 60$ ans, mais équilibre déjà en grande partie réalisé à 30 ans. Dans la nature cette famille est donc toujours à l'équilibre séculaire, on n'y trouve jamais le thorium 232 seul (le Rn-220, gaz thoron, peut se sauver, sa période est de 55 secondes). Mais aussi, si l'on met dans un fût le thorium obtenu à peu près pur suite à séparation chimique en usine (on a ensemble les thorium-232 et fils thorium 228), au bout d'une 30 aine d'années on aura "toute la famille" active dans le fût. La radioactivité de départ, juste après séparation sera à peu près multipliée par cinq. Mais ce n'est pas tout. Th-232 et Th-228 sont des émetteurs alpha purs et n'irradient donc pas à distance. Alors que 4 des fils sont émetteurs gamma, et particulièrement l'émission gamma du le Thallium 208 d'une énergie de 2,6 MeV (très élevée pour du rayonnement gamma) est très pénétrant (et le bismuth 212 émet un rayonnement γ d'énergie déjà forte de 727,3 keV). Le thorium, nitrates ou hydroxyde, est dès lors devenu fortement irradiant à distance.

Ainsi l'ASN (2009, p. 19-20) écrivait :

« Rhodia entrepose, essentiellement sur le site de la Rochelle, environ 20 000 tonnes d'hydroxyde brut de thorium et 11 000 tonnes de nitrate de thorium. Leur activité en thorium 232 est respectivement d'environ 720 000 Bq/kg et 1 650 000 Bq/kg. (...) Des bâtiments pour l'entreposage de l'hydroxyde brut de thorium ont été construits par Rhodia en 2006. Cela a permis de réduire le débit de dose lié à cet entreposage. L'exposition maximale de la population estimée par Rhodia est de 0,34 mSv/an pour 2008 [Réf. 39]. »

* réf 39 : "Bilan 2008, courrier Rhodia HSE/REC/JLR/LE 007-09 du 10 avril 2009"

Mais en 2017 l'ASN (p. 80) donne une activité massique trois fois supérieure, nitrate de thorium de ~ 5 MBq/kg, l'hydroxyde de ~ 2 Mbq/kg (ces chiffres étaient déjà donnés dans le PNGMDR 2013, témoignage du relatif des chiffres inscrits dans ces rapports pour ces matières indésirables dont seuls quelques experts peuvent approcher, le plus brièvement possible).

▪ Les petites quantités d'U-233 obtenues par irradiation du thorium par le CEA sont aussi à surveiller. Ainsi l'uranium-233 métallique fabriqué à Rocky Flat à coté de Denver au USA, contenait 50 ppm d'U-232 et selon un document du DoE, il irradiait 13 roentgens/heure à 30 cm et par extrapolation un contenu de 5 à 10 ppm emmétrait approximativement 5 R/h. « Dans de telles circonstances, il faudrait environ une à deux semaines d'exposition, travaillant 12 heures par jour, avant qu'une personne ait accumulée une dose potentiellement létale » (Alvarez 2013 p. 59).

II-7-2-2. Les sulfates de plomb radifère

Le *yellow-cake* résulte d'une séparation chimique pour extraire l'uranium. Dans ce cas les fils radium 226 et le thorium 230 sont en grande partie laissés en tas dans la zone des mines (il reste néanmoins du thorium 230 mais très peu de radium). Ce n'est pas du tout le cas du minerai malgache qui a seulement était trié mécaniquement sur l'île. Les familles uranium 238, 235 et Th 232 au complet ont été promenées dans une variété de transports jusqu'au CEA-Bouchet. La problématique de son traitement est spécifique.

La Gazette Nucléaire (n°107/108, 1991, [là](#), p. 22), rapportait qu'à la fin des années 1980 il y avait sur le site de stockage de déchets radioactifs de la Manche mis en service par le CEA en 1969 :

« Déchets à reconditionner :

Ces déchets ont été produits sur le site **du Bouchet** durant les années 1960. **Ils sont issus du traitement de l'uranothorianite**, plus précisément de la décontamination des pieds de colonne d'extraction. Cette décontamination était basée sur la **co-précipitation du plomb et du radium présents dans les jus au moyen de l'ion sulfurique**. Le solide était séparé par centrifugation.

Le précipité de sulfate de plomb et de thorium chargé en radium se présente sous la forme d'une pâte blanchâtre acide contenant environ 50% de solution aqueuse.

Ces déchets se présentent actuellement sous deux aspects:

- 896 fûts de 60 litres en tôle mince plastifiée intérieurement
 - poids d'un fût: 100 à 220 kg
 - activité moyenne d'un fût: environ 0,15 TBq (4 Ci), dont 13,3 GBq (0,36 Ci) de Radium 226
 - débit de dose au contact: 3 à 5 mGy/h (300 à 500 mrad/h)
- 96 fûts de 200 litres en tôle mince plastifiée intérieurement
 - poids d'un fût: 500 à 730 kg

- activité moyenne d'un fût: environ 0,49 TBq (13,3 Ci) dont 44,4 GBq (1,2 Ci) de Radium 226
- débit de dose au contact: 6 à 15 mGy/h (600 à 1.500 mrad/h).

Le total d'activité moyenne estimée est de 181 TBq (4.900 Ci)... (...)

- Plateforme PII :

- Contient 1,46 Ci de 226 Ra: résidus de traitement en provenance du Bouchet, analogues aux précédents. Volume ~380 m³. L'activité spécifique de ces produits est de l'ordre de 4.10⁴ CMA eau -168 h-travailleurs ,4.10⁸ CMA air-168 h- travailleurs. ».

Aussi 57 fûts de sulfate de plomb radifères de 110kg chacun du Bouchet avaient atterri à Razes haut lieu minier CEA 10 km au Sud de Bessines-sur-Gartempes (Davis 2001, p. 167).

- Au début des années 1990 pour pouvoir déplacer ces fûts sans tout contaminer, et diminuer un peu l'irradiation externe, l'Andra les a mis dans des conteneur béton cylindriques de 500 litres (qui vont être empilés sur 4 niveaux) ou des conteneurs parallélépipédiques de 5 m³ (qui pèsent 10 tonnes). Ils ont été amenés à l'autre bout de la France, mis dans un hangar ouvert de l'INB 56 afin de permettre l'évacuation du radon. Andra 2012a (p. 365) donne, originaire du Bouchet « sulfates de plomb radifères » : « 888 fûts mis en coques en béton de 500 litres » (82 TBq, Ra-226, Ra-228), il semble que ce soit 888 de ces coques (1 fût par coque), « 35 conteneurs béton de 5 m³ renfermant des fûts » (12 TBq, Ra-226, Ra-228) et les classe en MAVL (« médium activité » ce qui correspond à des déchets tellement radioactifs qu'ils émettent de la chaleur, à écarter de toute matière vivante).

Le tour de France de ces sulfates de plomb radifères de Madagascar n'est pas fini. En tant que MAVL l'Andra prévoit de les ramener au point de départ près du Bouchet (à 250 km) à la limite Lorraine et Champagne, à Bure. Il est annoncé que avant "la plus grande partie" (apparemment pas les 5 m³) devra être reconditionnée (i.e. les fûts pourris sortis et glissés ?, par des machines commandées à distance) dans des fûts inox tous neufs de 380 l.

Outre cette radioactivité radium/radon et fils, composante de la matrice sous forme poudreuse éminemment dispersable comme l'est tout le contenu : « Plomb : 100 kg/fût de 60 litres à 300 kg/fût de 225 litres » (Andra 2012b, p. 87) ce qui fait (100 × 888 = 88 800) + (~ 90 × 300 = 27 000) ≈ 116 tonnes de plomb en poudre.

On remarque que le lobby atomique a réussi à faire classer ces déchets sulfate de plomb radifère en intitulé « recherche ». Cela veut-il dire que le coût intégral de tout va être prélevé sur le budget enseignement-recherche en dehors du budget CEA ?

II-3-2-3. Autres déchets

- En 1967 : 31 596 fûts de déchets radioactifs militaires sont jetés par dessus bord dans l'Atlantique à un endroit désigné par l'AEN de l'OCDE. Ils s'agissait des déchets du début de la bombe sans aucun conditionnement, la boue radioactive directe dans des fûts (Barillot et Davis 1994, p. 176 et 186). 4500 autres seront jetés par dessus bord en 1969.

- **32 600 fûts** métalliques de 100 à 200 l de l'usine uranothorianite du Bouchet ont été expédiés dans un lieu presque introuvable, Bauzot, ou "Les Bauzots", dans une ancienne carrière+mine CEA à proximité de la D25 lorsqu'elle descend sur le village d'Issy-l'Evêque, à moins de 2 km du village (Fig. 27., à gauche), Saône et Loire. Il s'agit de « 5 600 tonnes de **résidus de minerai d'uranothorianite** » (arrêté préfectoral du 04/07/1997 in Gazette Nucléaire n° 163/164, 1998, [là](#), p. 30). Selon l'IRSN c'est des « stériles d'attaque, résidus de filtration hors concentré radifère » et ils sont mélangés à 48 000 autres fûts d'autres provenances. « Une étude hydrogéologique a montré que les eaux qui traversent la zone de stockage s'infiltrèrent vers une nappe qui alimente un puits situé en contrebas. » (Pradel et al. 1968).

Un arrêté préfectoral du 07/04/2011 a fini par demander à Areva/CEA de faire des études "visant à mieux connaître ses stockages". Areva a fait faire des petits forages au Bauzot "procédés retenus afin que les ouvriers chargés de réaliser les carottages ne soient pas exposés à de fortes doses de radioactivité. Ainsi, confinée, placée sous une gaine et montée sur chenille, la sondeuse procède à des prélèvements, jusqu'à 10 mètres de profondeur. Les éléments prélevés sont alors recueillis dans une « boîte-à-gants » si bien que ceux-ci ne seront jamais en contact avec l'air libre." (Jl. Ht Saône 17/02/12, [ici](#)). Ces forages ont été faits sans eau et ensuite cimentés. Une équipe de radioprotection était là pour surveiller le chantier et son personnel, Fig. 27. à droite. Coût de cette "petite enquête" sur résidus secondaires : 1 million d'euros.

- Comme toute l'usine CEA du Bouchet, la partie uranium comme la partie uranothorianite a été démantelée cela a produit une série de déchets. Il y a ceux du terrain en face de l'usine le long d'une petite route (l'avenue de la gare) qui lie les communes de Itteville et de Ballancourt-sur-Essonne en plaine alluviale dans de la

tourbe gorgée d'eau, entre des plans d'eau, et à pas 300 mètres de la rivière l'Essonne. Le CEA l'a utilisé entre 1948 et 1971 comme bassin de décantation et aire de stockage et lui a donné le nom de "déposante" dans laquelle il laisse ~ 27 000 tonnes de diverses choses radioactives qui viendraient surtout de l'usine uranium (recouvert d'un peu de terre par l'Andra en 1993). Certains (de l'usine uranothorianite) ont été jetés dans une ancienne mine à ciel ouvert au Brugeaud (≈ Bessines, avec plein d'autres déchets radioactifs d'autres lieux CEA), d'autres l'ont été à Fanay (site de Thierry Lamireau, [ici](#)), d'autres à Jouac (Andra 2012a p. 288). Du plus faiblement radioactif a été mis sous l'autoroute A7 (vers Longjumeau), et dans une décharge à Montboucher... (OPECST [in](#) Gazette Nucléaire n° 107/108, 1991 p. 13).



Fig. 27. A gauche : vue de la route D25 qui descend sur le village de Issy-l'évêque (google St.). Derrière/au milieu de ce bouquet d'arbres à flanc de coteau en arrière plan est ce lieu introuvable dit "Bauzot" ou "Les Bauzots". Le CEA a enfoui dans un ancien trou de mine 5 600 tonnes des résidus du traitement de l'uranothorianite de Madagascar en 32 600 fûts banal. C'est à moins de 2 km du village. A droite, par arrêté préfectoral, Areva/CEA a du faire quelques forages en 2012 "visant à mieux connaître" ce qu'il a enfoui là. Un ouvrier est en train d'enfiler une carottes déjà emballée dans une "boite à gant" (Le Journal de Saône et Loire 17/02/2012, [ici](#))

● L'usine dans la Zone industrielle de Chef de baie à La Rochelle de la Société des Terres Rares/Pechiney devenu Pechiney-Saint Gobain en 1959 a commencé l'attaque de la monazite en 1957. Pechiney-CEA lançaient en même temps l'exploitation de monazite dans la colonie malgache, à Tolanaro/Fort Dauphin. Jusqu'à la fin 1974, l'usine rejetait tous ses déchets radioactifs liquides et solides directement en mer par un tuyau allant sur la grève du Port-Neuf en contrebas de l'usine (Davis 2001, p. 233). Cette grève a été "classée *zone insalubre*" par la direction des affaires maritimes depuis les années 50, et la pêche y est en principe interdite. Mais les panneaux s'ils ont jamais existé, sont démolis depuis longtemps." (Libération 28-29/03/1988 cité in "Le Cri du Rad", printemps 1988, p. 38), Fig. 28.

Fig. 28. Émissaire des rejets à la grève de Port neuf à La Rochelle par lequel Pechiney rejetait les déchets radioactifs et chimiques du traitement de la monazite ([in](#) Le Cri du Rad, CrieRad, printemps 1988, p. 37)



▪ La bourgade de Pargny-sur-Saulx dans la Marne où était établi le petit industriel fabriquant de pierre à briquet avec le cérium de la monazite de Tolanaro/Fort Dauphin, et qui devait donner le thorium au CEA (Ndong, 2012) a aussi été contaminée. L'Andra est restée une 20aine d'années pour ça, a enlevé un peu des déchets, et a enfoui des restes un peu radioactifs juste en contrebas de l'église et dans un champs à la sortie de la bourgade. Étant sous un peu de terre il ne faut pas d'arbres dont les racines iraient dedans. La municipalité quasi contrainte d'acheter ces terrain 1 € sous peine d'être traité comme dissidente par les services de l'État doit maintenant tondre ces pelouses à jamais.

- Turbomoteurs et turboréacteurs militaires

La SIMMAD (Structure Intégrée du Maintien en condition opérationnelle des Matériels Aéronautiques du ministère de la Défense) a stocké du matériel aéronautique contenant du thorium 232 sur la Base Aérienne 279 (il y avait 500 avions déjà là) désaffectée de Châteaudun. Deux types d'alliages à base de magnésium en contiennent, le ZT1 (2,5 à 3,5 % en masse, activité massique estimée à 300 kBq/kg) et le TZ6 (1,2 à 1,8 % en masse, 150 kBq/kg). Par ailleurs certains procédés des soudures ont utilisé des électrodes au tungstène contenant 4 % de thorium. Ce sont des parties de turboréacteurs et turbomoteurs : carters, corps de pompes, arbres de moteurs. Pour les avoir il faut démonter les réacteurs/moteurs qui entiers émettent entre 5 à 25 $\mu\text{Sv}/\text{heure}$ au contact. Cela va être fait par des entreprises privées mieux-disantes notamment une à Culoz dans les Alpes vers Annecy où il faut transporter les réacteurs de Chateaudun à démonter. La SIMMAD dit qu'elle confiera les pièces thoriées à l'Andra pour un futur site d'enfouissement FAVL ("faible radioactivité à vie longue").

S'il n'y avait pas eu ces 2-4 % de thorium ces métaux auraient pu être recyclés plutôt que d'être des déchets comportant un danger.

Annexes

A-I. Les terres rares

A-I-1. Classification périodique des éléments

Les terres rares, ou lanthanides, ou lanthanoïdes, sont dans le bas du tableau périodique des éléments, tableau de Mendeleïev, la 6^{ème} rangée = 6^{ème} période ("éléments de transition interne") :

I _a II _a III _a																	IV _a V _a VI _a VII _a VIII _a I _b II _b III _b IV _b V _b VI _b VII _b VIII _b ou O										He
H	Eléments de transition															B	C	N	O	F	Ne						
Li	Be	Eléments de transition interne															Al	Si	P	S	Cl	Ar					
Na	Mg	Sc	Y													Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
K	Ca	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sa	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	In	Sn	Sb	Te	I	Xe					
Rb	Sr	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sa	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sa	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au			
																	104	105	106								

Fig. A-1. Classification périodique des éléments (Besson 1976 p. 16)

Il y a plusieurs manières d'intituler les colonnes. Ici l'indice "a" concerne les éléments dont les couches internes ne sont pas saturées (c'est à partir de la 4^e période), et l'indice "b" des éléments à couche interne saturée.

Ce tableau donne les atomes dans leur état fondamental (i.e. d'énergie la plus basse). Les éléments sont rangés par ordre croissant du nombre de protons dans le noyau (chargés positivement, les neutrons deuxième composante n'étant pas chargés ne comptent pas ici) : c'est le numéro atomique Z . Parallèlement augmente le nombre d'électrons autour du noyau, qui de leur charge négative viennent neutraliser les charges positives des protons.

Nous avons présenté [ailleurs](#) la structure (électronique) des atomes d'où découle la compréhension de ce tableau et les propriétés de ses différentes possibilités de groupements.

Il y a 4 sortes d'orbitales électroniques (des petits volume particuliers dans lesquels se meuvent chaque électron), les s et p d'abord, qui sont les premières autour du noyau, les seules présentes pour les atomes les plus légers.

Les choses se compliquent avec l'augmentation du nombre protons donc d'électrons. Arrivent les orbitales d des éléments dits de transition (chrome, fer, cobalt...). Et les choses deviennent encore plus compliquées lorsqu'on arrive aux périodes 6 et 7 parce qu'il y a beaucoup d'électrons, et intervient le dernier type d'orbitale, le type f .

Les orbitales externes expliquent les propriétés des atomes et le tableau peut être partagé en blocs (Fig. A-2)

Un point important est l'ordre de remplissage des orbitales. De simple et logique pour les atomes légers, ça devient de plus en plus complexe en allant vers le bas du tableau.

- La 6^{ème} période, ligne où se trouvent les terres rares, commence par le césium. Le remplissage de la nouvelle couche électronique f à partir du lanthane nécessite d'ouvrir une nouvelle fenêtre de 14 éléments (bien qu'on ne change pas de période) qui correspondent au remplissage de ce nouveau type d'orbitale, f . C'est la première ligne du bloc f . Couche f mise à part ("transition interne"), on a la 3^e série d' "élément de transition", Hf à Hg, puis dans le bloc p le thallium et plomb ($Z = 82$) après lequel tous les éléments sont radioactifs : Bi, Po, At, Rn.

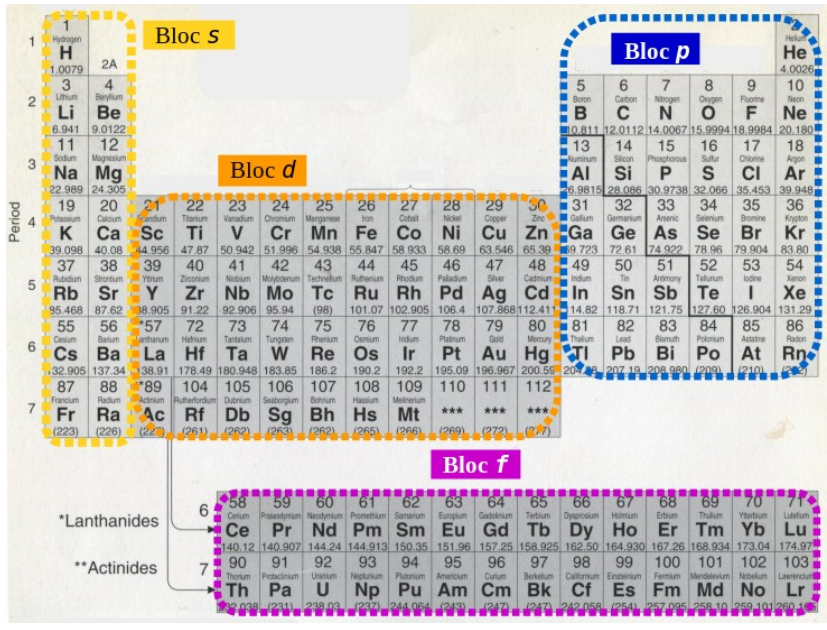


Fig. A-2. Les quatre blocs de la tables périodique des éléments

▪ Les dites *terres rares* (cérium à lutécium) n’ont pas d’homologue dans la période précédente car elles proviennent de la saturation jusqu’à 32 électrons de cette nouvelle sous-couche intérieure, *f*. Ce n'est pourtant pas la couche la plus externe, au contraire c'est la 3^{ème} vers l'intérieur à partir de la plus externe : Fig. A-3. On y voit dans la couche N le début de remplissage d'orbitales de type *f* pour la première fois. Il y a 14 terres rares parce qu'il y a 7 orbitales *f* avec 2 électrons chacune.

Z	Élément	K n = 1	L n = 2	M n = 3	N n = 4	O n = 5	P n = 6	
		s	s p	s p d	s p d f	s p d f	s p d f	
6^{ème} période (début)								
55	Cs	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6	1	Bloc s
56	Ba	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6	2	
57	La	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6 1	2	Bloc d
58	Ce	2	2 6	2 6 10	2 6 10 2	2 6	2	Bloc f
59	Pr	2	2 6	2 6 10	2 6 10 3	2 6	2	
60	Nd	2	2 6	2 6 10	2 6 10 4	2 6	2	
61	Pm	2	2 6	2 6 10	2 6 10 5	2 6	2	
etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	

Fig. A-3. Configuration électronique des premiers éléments de la 6^{ème} période dans laquelle se trouve les terres rares

Cependant à l'extérieur de la couche N il y a déjà des électrons, 8 dans la couche O et 2 dans la couche P la plus externe. Le fait que c'est une couche *f* profonde qui varie, fait que les terres rares ont des propriétés chimiques très proches les unes des autres. Et hormis les cérium et Europium qui peuvent être séparés par redox, respectivement oxydé à + 4 et réduit à +2 alors que la valence normale des terres rares est +3, il est très difficiles de séparer les autres terres rares les unes des autres. Il faut passer par de nombreuses étapes de séparation liquide-liquide entre une phase aqueuse et une phase organique avec agents complexant. Les métaux sont préparés par électrolyse d'halogénure de terres rares fondus. Ce sont des métaux blancs et doux (densité 6 à 10 g/cm³) relativement pauvre conducteurs de chaleur et d'électricité. Mais ils sont hautement réactifs vis-à-vis de l'oxygène est sont normalement gardés dans des ampoules de verre scellées. Ce sont donc des métaux réducteurs puisqu'ils captent l'oxygène, et comme très stables une fois oxygénés, leur oxydes sont des réfractaires, durs à fondre. Le mélange des premiers métaux lanthanoïdes, principalement cérium et Lanthane et des petites quantités de Praséodyme et Néodyme qui reflètent la composition du minerai monazite, est appelée *mischmetal* dans le commerce.

Les électrons de la couche *f* sont souvent solitaires, sur le plan magnétique ils peuvent s'aligner et comme ils sont plusieurs par atomes cela peut donner des très grands moments magnétiques d'où les propriétés ferromagnétiques (i.e. aimants qui le reste) ce certaines terres rares.

- Malgré leur nom, les éléments constituant les terres rares ne sont pas spécialement rares. Le plus abondant, le cérium, Ce, est plus répandu dans l'écorce terrestre que le cuivre, le plus rare, le thulium, Tm, est 4 fois plus abondant que l'argent.

Si l'on porte les abondances des terres rares dans une roche en fonction du numéro atomique Z, on obtient une courbe en dent de scie, y compris lorsque l'échelle est logarithmique, les isotopes de Z pair étant les plus abondants (Fig. A-4). Cette observation est générale pour tous les éléments de la classification périodique. Elle s'explique par le fait que la synthèse des éléments dans les étoiles comme le soleil (la nucléosynthèse) a utilisé fondamentalement la fusion des noyaux d'hélium (Z = 2). En géologie on convient de masquer cet effet de l'hétérogénéité initiale en divisant les concentrations des roches étudiées par les concentrations correspondantes mesurées dans le matériau accessible le plus primitif du système solaire, les météorites de la classe des chondrites. La distribution résultante est pour la plupart des roches connues une courbe horizontale ou inclinée, mais à peu près lisse.

Autre caractéristique, parce que leur rayon ionique est plus grand, les premiers éléments des terres rares ont été plus concentrés dans la croûte terrestre. Dans la plupart des gisements, lanthane, cérium, praséodyme et Néodyme constituent 80 à 99 % du total.

Une terre rare n'existe pas à l'état naturel, le prométhium, Pm (peut être produit artificiellement, a une période de 3,7 ans)

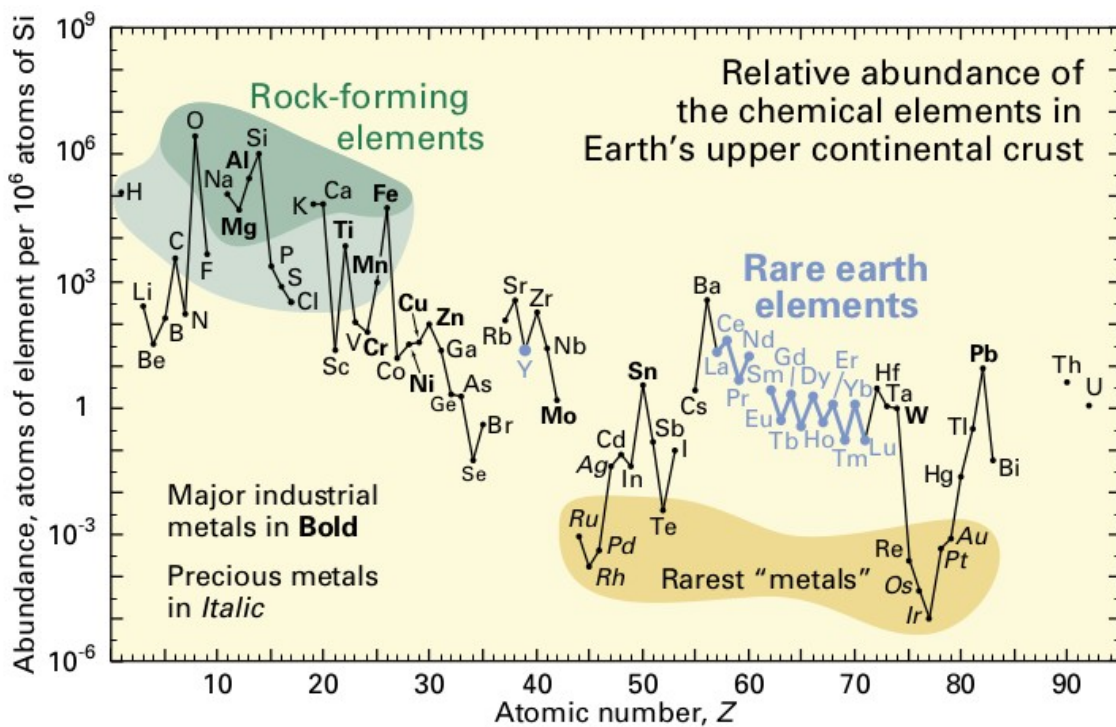


Fig. A-4 Abondance des

éléments. L'échelle de l'abondance est logarithmique, les différences sont considérables. Par ex. il y a ~ 200 fois moins de Tm et de Lu que de Ce (USGS Fact sheet 087-02, 2002)

- La plus abondante source des TR est le phosphate monazite. Mais elle contient souvent du Th désormais indésirable ce qui l'a fait abandonner. La bastnaésite, un carbonate des gîtes pegmatitiques et métasomatiques est le minerai maintenant le plus exploité. C'est le cas dans l'occurrence géante de Bayan Obo (qui est en même temps une mine de fer, 3 carrières ouvertes kilométriques), en Mongolie intérieure au Nord de la Chine, et de celui de Mountain Pass sur la limite Nevada-californie, tous les deux liés à des intrusions de carbonatites (magmas rares qui comportent plus de 50 % de minéraux carbonates, jusqu'à 90 %, et avec silicates et autres minéraux généralement rares ; sont liés à du magmatisme alcalin dans un contexte de rift intracontinentaux). On a mentionné plus avant que la bastnaésite pouvait être trouvée dans quelques pegmatites du haut pays de Madagascar (champs de Ambatofinandrahana, Fig. 7).

• Actinides

Dans la période suivante, la 7^{ème}, le radium est un alcalino-terreux typique avec deux électrons externes (dans $n = 7s$). Dans l'élément suivant, actinium, un électron entre dans le niveau 6d (couche P cf. Fig. A-3). Sa configuration externe $6d^1 7s^2$ ressemble (à un cran au dessus) à celle du lanthane $5d^1 6s^2$. Et là aussi c'est une sous-couche f (la 5 f cette fois) qui se remplit ensuite (thorium $[Rn]5f^1 6d^1 7s^2$, Uranium $[Rn]5f^3 6d^1 7s^2$), 2^{ème} ligne du bloc f qu'on appelle actinides.

Ces actinides vont avoir des propriétés similaires aux lanthanides, dans la mesure où leurs sous-couches internes f sont partiellement remplies alors que leur sous-couche externe $7s^2$ est pleine. Notamment les actinides sont aussi des métaux très réducteurs. Les obus usinés en uranium "dit" appauvri (en un isotope particulier) qui sont de l'uranium quasi-pur sont utilisés par l'OTAN/USA-GB (Kosovo, Irak, puis Ukraine) parce qu'ils prennent feu et mettent le feu sur les cibles désignées ennemies (comme le cérium/ *mischmetal* de la pierre à briquet) ce qui n'est pas sans conséquences sanitaires durables : dispersion fine de métaux lourds chimiquement toxiques et radioactifs. Beaucoup d'actinoïdes sont connus comme poison et sont tous traités comme dangereux en laboratoire.

L'état d'oxydation principal pour le thorium est 4+. Dans la nature, on trouve le thorium avec les terres rares. Le degré d'oxydation 4+ est également très important pour l'uranium, c'est celui de l'uraninite(cristallisé)-pechblende(colloïdale) de formule UO_2 . Mais au contact avec l'atmosphère le degré d'oxydation le plus stable est +6, (cation uranyle jaune vif : UO_2^{2+} soluble en conditions oxydantes) ou un mélange des états 4+ et 6+ comme l'oxyde U_3O_8 .

A-I-2. La Société des Terres Rares, STR

• D'abord Carl Auer von Welsbach (1858-1929)

L'autrichien Carl Auer von Welsbach (1858-1929) avait fait une thèse de chimie avec R. Bunsen. Il a réussi à isoler plusieurs terres rares. Il est par ailleurs célèbre comme lanceur des applications industrielles de ses travaux et a obtenu des revenus conséquents de ses brevets.

Les premiers manchons lumineux pour becs de gaz de ville, et d'intérieur, qu'il a créé étaient une trame de coton imprégnée d'un mélange de sels d'abord de 60 % de magnésium 20 % lanthane et 20 % d'yttrium. Le coton brûle, les sels sont transformés en oxydes et laissent cette trame solide bien que très fragile. Mais il opte vite pour le mélange 99 % Thorium et 1 % Cérium, qui donnait des manchons durant plus longtemps et qui étaient plus lumineux, et supérieurs aux ampoules électriques de l'époque.

C. A. von Welsbach invente aussi la pierre à briquet ou ferrocérium, un alliage de 70 % de cérium et 30% de fer. Il séparait terres rares et thorium à partir de monazite et il obtenait le mischmetal (un mélange surtout de Ce et La avec des petites quantités de Pr et Nd qui reflète la composition du minerai monazite) par la méthode de la fusion à partir de chlorures anhydres par électrolyse pour laquelle les problèmes techniques étaient à peu près résolus en 1907.

Cette pierre à briquet au mischmetal grattée avec quelque chose de dur produit de fines particules qui avec la chaleur produite par la friction d'arrachement s'enflamment spontanément à l'oxygène de l'air (pyrophorique) à l'état Ce_2O_3 . C'est une propriété des lanthanides de s'oxyder extrêmement facilement, c'est à dire à s'allier tout de suite à l'oxygène en une réaction exothermique. Comme purs, ces métaux sont ductiles, pour l'usage de la pierre à briquet, ils doivent être mélangés à du fer.

• Création de la Société des Terres Rares, STR

- Les français aussi s'étaient distingués en recherche sur les terres rares, objet d'une intense compétition internationale. De Lecoq de Boisbaudran, autodidacte (mort en 1912) a découvert le samarium, Sm, et le dysprosium, Dy, en plus du gallium, Ga, ailleurs dans la table.
- Georges Urbain (mort en 1938) a créé un laboratoire terres rares à l'École Nationale Supérieure de Chimie de Paris. Il a réussi à les isoler, a précisé leurs poids atomiques, a déterminé quelques unes de leurs propriétés chimiques et physiques et a découvert le lutétium, Lu, qui est le dernier, en 1907. C'était au prix d'un travail très long et fastidieux par cristallisations fractionnées.

En 1919, avec Joseph Blumenfeld, né en Moldavie, diplômé de chimie de Saint-Petersbourg venu faire une thèse dans son laboratoire, ils fondent la *Société des Terres Rares*, aussi appelée alors *Société des produits chimiques des terres rares*. C'était pour traiter la monazite pour la production de sels de terres rares, avec comme sous-produits le thorium, mesothorium (nom d'alors du Radium 228+actinium 228; de même à l'époque le thorium 228 s'appelait radiothorium) et leur vente (pour manchons d'éclairage et autres usages).

Pour ce faire ils ont pu bénéficier d'une usine en France de la Deutsche Auer-Gesellschaft qui produisait des sels de thorium et de cérium utilisés dans la fabrication des manchons Auer pour l'éclairage au gaz, réquisitionnée avec la guerre, puis acquise en 1920. Cette usine était à Serquigny, bourgade de 2500 habitants en Normandie, 135 km à l'Ouest de Paris, carrefour ferroviaire entre les lignes Paris-Cherbourg et Rouen-Le Mans. J. Blumenfeld la dirige et l'usine est dotée d'un laboratoire, une rareté dans le milieu industriel de l'époque. Elle travaillait sur des sables des Indes et du Brésil. Dirigée par ces spécialistes académiques des terres rares, ses procédés et appareillages étaient à la pointe pour l'époque. L'usine va craquer de la monazite jusqu'à son bombardement en 1944.

"Au cours des années trente, Urbain développe des contacts avec les industriels français des terres rares [qui semblent avoir tous disparus contrairement à la STR], qui commercialisent certains des éléments comme "la pierre à briquet" ou "additifs" dans les verres et porcelaines. La séparation et la purification des terres rares en particulier leur pose problème." (Teissier 2007, p. 82). Ces "métaux extrêmement réactifs à haute température réagissent avec les creusets censés les contenir" (Teissier 2007, p. 222), c'était un gros problème de l'époque (il n'y a guère que le tantale qui réagit peu avec les lanthanides).

Par ailleurs, lanthanides et actinides, les chimies qu'ils conduisaient étaient proches, aussi Georges Urbain et Marie Curie avaient des échanges, en produits et en élèves.

A partir de 1934, Paul Gregory, un X-mines, devient administrateur de la Société des Terres Rares, le président est toujours J. Blumenfeld. Dans ces années les liens avec le laboratoire Curie continuent, maintenant avec Irène Curie et Frédéric Joliot qui avaient besoin de produits de la famille du thorium que la STR extrayait. Ces produits leur étaient fournis à titre amical (Pinault 2000, p. 56).

● La Guerre

Avec le régime de Vichy, la STR est "aryanisée", Joseph Blumenfeld (beau frère de Ch Weizmann qui sera premier Président d'Israël) et sa famille doivent partir aux États-Unis en 1941 après s'être arrangé avec Pechiney à qui « il confie ses intérêts ». C'est Pechiney (Alais, Froges et Camargue = AFC = Pechiney) dirigé par Raoul de Vitry d'Avaucourt qui est alors en charge de la STR (qu'il rachètera complètement en 1959).

Paul Grégory agit en tant que Directeur de la STR pendant toute la guerre (après laquelle il sera selon l'annuaire Desfosses de l'année 1948, Président des Produits chimiques de Thann et Mulhouse dans le C.A. duquel figure aussi L. Denivelle, et à Organico, alors filiale de Pechiney, qui fait de la Chimie organique). Les relations sont ininterrompues avec Frédéric Joliot, la STR continue à mettre à disposition à titre bénévole pendant la guerre des matières (mesothorium et radiothorium, i.e. radium 228 à thorium 228).

Lacroix-Riz (2013, p. 191, qui cite des extraits d'archives) :

« La société des terres rares continue seule à fabriquer des produits destinés aux industries allemandes et du ferrocérium à partir des stocks de monazite qu'elle détient », bénéficiant d'« un véritable monopole ». (...) La « Société chimique des terres rares à Serquigny (Eure) » avait pour sa part marié début 1941 son capital avec son homologue allemande, Auer, pour un pourcentage non précisé. C'est « La Maison Worms » qui servit de truchement : bien que n'ayant « dans cette société aucune influence en tant qu'actionnaire, elle lui a [...] permis d'exécuter son programme de développement de son usine de Serquigny par les avances de plusieurs millions qu'elle lui a consenties. En rémunération de son concours, elle a reçu une option sur un certain nombre d'actions de la Société des produits chimiques des Terres Rares. Elle a acheté dernièrement 5000 actions, [soit] 15 % du capital de la société. La Maison Worms n'est actuellement par représentée dans le conseil de la Société des produits chimiques des Terres Rares ». La part vendue aux Allemands correspondit donc au minimum à la « rémunération [du] concours » que Worms & Cie avait apporté au fort « développement » de l'« usine de Serquigny ».

La Sûreté nationale signala en 1945 un placement de « juin 1942 » dans les « Produits chimiques des Terres Rares » comme une des « nombreuses opérations d'émission [...] de la maison Worms & Cie [qui] a[va]it eu une très grosse activité durant l'occupation ». « La majorité de [la] société [des produits chimiques des Terres rares], issue en 1918 du séquestre d'une entreprise allemande de produits chimiques, était revendiquée par l'ennemi. ».

Les archives Worms précisent que en juin 1942 la banque « procède à l'augmentation de capital de la ... [STR] de 3,75 à 15 millions, par l'émission de 22.500 actions nouvelles de 500 F, émises à 650 F. ... (...) les actions de la société furent introduites à la Bourse de Paris...» (site wormsetcie.com, [là](#)). Cet archive écrit (sic) que Paul Grégory est alors « président-directeur-général de Saint-Gobain ».

En 1944, les américains bombardent l'usine STR de Serquigny. Mais début 1944 les allemands avaient pris pour Auer Gessellschaft presque tous le sulfate de thorium disponible, 80 tonnes sur les 95 t (Goudsmit et Wardenburg 1944).

- Aux USA, le Manhattan project a transformé fondamentalement la recherche dans le domaine des terres rares. Elles pouvaient servir de modèles non radioactifs pour appréhender la séparation des actinides, pour le plutonium. Le seul laboratoire des terres rares était celui dans la ville d'Ames, de la *Iowa State University* (qui restera un gros labos TR après la guerre, financé par l'US Atomic Agency). Son directeur de chimie, physique et métallurgie, Franck H. Spedding fut convoqué au Pentagone en 1942 et chargé de mettre au point des techniques de séparation. Il disposait de tout le personnel qu'il voulait. Il a d'abord essayé les échanges d'ions sur résine et cela a marché. Dès lors la fastidieuse cristallisation fractionnée de G. Urbain allait devenir caduque. La séparation des lanthanides et actinides sont devenus programmes compagnons. Certains laboratoires aujourd'hui utilisent pareillement les terres rares comme modèle (non dangereux) pour essayer de prédire le devenir des actinides (dangereux) dans l'environnement puisque les autorités prévoient de les enfouir.

• L'immédiat après-guerre

Un an plus tard, en 1945, Frédéric Joliot et Raoul Dautry à la tête du jeune CEA qu'ils ont obtenu ont besoin d'industriels pour commencer l'extraction et le travail de l'uranium. Ils ont un lieu avec des bâtiments mis à disposition, la poudrerie militaire du Bouchet.

C'est à la Société des Terres Rares, STR, puisque elle n'a jamais cessé de fonctionner à bon régime les années précédentes (mais dont l'usine est cassée), et que F. Joliot connaît bien, qu'ils sous-traitent l'installation.

La STR commence les travaux en juillet 1946, l'unité est prête pour début 1947. Elle devait mettre au point un moyen efficace de produire l'uranium métal (ce que faisaient déjà les anglais).

« [J. Guéron :] et un jour, très abruptement Joliot a dit : « On fera ça avec les Terres Rares »... Goldschmidt et moi étions mécontents... . . . Nous n'étions pas certains que les Terre Rares étaient ce qui fallait pour ça. En fait, on a très vite vu qu'ils voulaient nous mettre une usine délabrée à La Rochelle [qu'ils ont visitée début 1946]. On n'a pas aimé l'intervention de Denivelle pour cela. On sentait une sale affaire connectée aux accords du SEDARS* » Puis J. Guéron dit qu'ils ont complètement ré-écrit l'accord car « le premier projet qui venait probablement de Denivelle, ou peut-être tout droit de la Société des Terres Rares... » (Weart 1978).

* SEDARS : *Syndicat d'Étude et le Développement des Applications de Radioéléments Synthétiques*, a été créé en 1943 par F. Joliot avec des industriels proches de Vichy pour construire deux cyclotrons à usages Industriel, projet soutenu par J. Bichelonne et Le Roy Ladurie (Pinault 2000, p. XIII) et financé en partie par la banque Worm (Chevassus-au-Louis 2004).

"Je me rappelle de quelques conversations dans le bureau de Joliot avec Raoul de Vitry, qui était à l'époque chez Pechiney et qui dirigeait la Société des Terres Rares et étaient à la fois des amis personnels de Joliot... Quels services Denivelle avait-il rendus pendant la guerre à Dautry ? Je ne sais pas." (cité in Pinault 2000, p. 349).

Après la guerre, un administrateur de la *Société des produits chimiques des terres rares* est Jacques M. Meynial qui est aussi l'un des 3 dirigeants de la banque Worms.

- B. Goldschmidt avait rapporté d'Amérique des nouvelles techniques de purification des uranium, plutonium, par solvant. Cela ne pouvait que très fortement intéresser l'exploitant, la STR (bientôt 100 % Pechiney) ! et cela au titre des lanthanoïdes aussi. Bientôt cette technique va lui permettre aussi de séparer finement les terres rares les unes des autres.
- Alors que le CEA, F. Joliot puis B. Goldschmidt, et la Commission indienne de l'énergie atomique avec le physicien atomique H.J. Bhabha, étaient en discussions depuis 1949 sur les échanges de connaissances et de matières, c'est la STR qui va aller diriger la construction d'une usine de traitement de la monazite dans le Kerala à Aluva/Alwaye, inaugurée en décembre 1952.
- La Société des produits chimiques des terres rares, S.T.R. a une augmentation de capital en 1951 dont le plus gros souscripteur a été la Caisse des dépôts et consignations, c'est à dire l'État.
- "... en novembre 1954, des pourparlers entre le Conseil national des Recherches du Brésil et la Société chimique des terres rares, alliée du CEA, pour la fourniture de plans d'une usine de l'uranium inspirée de celle du Bouchet" (Faillès 2001, p. 143). A ce moment c'est l'X-Mines P. Guillaumat qui est Administrateur général du CEA. C'est l'époque où en France, avec le Radical Felix Gaillard, R. Goetze dans les ministères, on s'arrange pour passer un gros budget pour le CEA, pour la bombe bien sûr.

● L'usine de La Rochelle (STR/Pechiney → Rhône-Poulenc/Rhodia → Solvay)

Pour la chimie minérale la STR n'est par retournée après la guerre dans son usine bombardée de Serquigny (l'usine de Serquigny sera refaite, mais pour de la chimie organique). Elle a une usine, alors délabrée dans la Zone industrielle de Chef de baie à La Rochelle. Ce lieu avait été achetée en 1938 par la société chimique de Thann-Mulhouse, TM, pour augmenter la production d'oxyde de titane (électrolyse, triage sable ilménite d'Inde et Sénégal; avec quel société TM la STR s'était associée en 1922, et dont ce brevet de fabrication était détenu par J. Blumenfeld). Léon Denivelle que F. Joliot avait fait nommer premier Secrétaire Général du CEA et fait mettre dans le Comité scientifique du CEA en 1946, deviendra le grand patron de l'usine de Thann de 1948 à 1977.

La chimie minérale de la STR va donc à La Rochelle. Mais le premier atelier d'attaque de la monazite n'y sera ouvert qu'en 1957 bien après celle construite en Inde sous la direction de la STR entre 1950 et fin 1952. Il est vrai que de 1946 à environ 1949 la STR avait été cooptée par F. Joliot pour établir et lancer l'usine uranium du Bouchet, extraction-purification d'abord sous forme d'oxyde puis métallique, pour le compte du CEA. Et la STR devait aussi produire le calcium métal purifié utilisé dans le process.

L'usine de La Rochelle devient complètement Pechiney en 1959 peu après que Pechiney avec le CEA aient créé la Sotrassum en 1958 pour la Madagascar (cf. § II-6-2.). Pechiney-CEA ont pour leur compte importé de 4000 à 5000 tonnes de concentré de monazite de Madagascar jusqu'en 1966.

Selon le site www.culture.gouv.fr, en 1962, l'usine Pechiney de La Rochelle employait 200 personnes.

En 1972, Pechiney-St Gobain donc aussi l'usine de la Rochelle est absorbé par le groupe Rhône Poulenc. Elle importe alors bien davantage de monazite et autres minerais du monde entier jusqu'en 1994 : 50 000 tonnes "*importations d'Australie, Burundi, Malaisie, Madagascar*" sur l'intervalle 1972 à 1991. Ce minerai importé était d'abord dirigé à coté du port de Bayonne, dans l'usine d'engrais Fertilandour de Boucau pour broyage (de 1972 à 1991; Acro, [là](#)).

La monazite était craquée à la soude caustique NaOH pour casser la matrice phosphatée puis traitée à l'acide nitrique pour obtenir des nitrates. La fabrication de pierre à briquet est arrêtée en 1977 mais entre temps les utilisations des terres rares se sont multipliées. A la fin des années 1980, il y a 470 salariés, un chiffre d'affaire de un milliard de francs, 95% à l'exportation. La monazite avait "*l'inconvénient*" de laisser des résidus radioactifs. A partir de 1994 Rhône-Poulenc emploie entre autres de la bastnaésite ou bien de la matière pré-traitée sur le lieux d'extraction à Bayan Oha, en Chine. En 1998, la chimie de Rhône-Poulenc devient Rhodia-Terres rares. En 2011, le groupe Solvay reprend Rhodia.

- A partir de la 2^{ème} moitié du 20^{ème} siècle les industries atomique et de terres rares procèdent avec solution contenant un solvant dans une proportion précise et un brassage violent : les thorium et uranium sont solubles dans le solvant, les terres rares restent dans la phase aqueuse. Au Bouchet, brièvement la STR puis le CEA utilisait le TBP, tributyl-phosphate et l'acide nitrique fumant, comme Cogema-Areva-Orano La Hague depuis (procédé US mis au point à Savannah River et Hanford au milieu des années 1950s).

C'est pour les séparations fines entre terres rares que Rhodia utilise un procédé de séparation continu par extraction à l'aide de solvants. « *Lors des diverses extractions, de nombreux types de solvants sont employés : acide di(2-ethylhexyl)phosphorique, tri(n-butyl)phosphate, sels d'ammonium quaternaire, acides carboxyliques... Dans l'usine de La Rochelle, plus de 1500 étages de mélangeurs-décanteurs sont utilisés.* » (Société Chimique de France 2012). Elle produit les TR séparées de grande pureté sous forme d'oxyde ou de sels, des quantités relativement petites mais qui se vendent très cher (en 2000 les prix de Rhodia étaient : 1 kg de cérium \$ 19,2, un kg de néodymium \$ 28,5, un kg de dysprosium \$ 120, un kg d'Eu \$ 990, un kg de Thulium \$ 2500, un kg de lutetium \$ 3500 et un kg de scandium \$ 6000). Il est dit que Rhône Poulenc a été un moment le seul fabricant mondial de terres rares pour les écrans de télévision.

En 1993 a été créé dans la ville des terres rares, Baotou, Chine "*Baotou Rhodia Rare Earths Co, Ltd*", avec deux autres partenaires, ensuite renforcée par d'autres. En 2018 elle est rebaptisée Baotou Haorui Rare Earth Co., Ltd. Spécialisée dans les poudres de polissage.

Rhodia avait aussi à Freeport, Texas, USA, une usine chimique de séparation des principales terres rares, et une usine en Joint-venture à Kobe au Japon 67 % Rhodia et 33 % Santoku Metal Industry Co.

Une autre Joint-venture (45%) a été lancée (en 2000, J.P Tirouflet) en Chine (Liyang Rhodia/Solvay Founder Rare Earth New Material Co, Ltd) dans la province de Jiangsu près de Shanghai avec deux entreprises chinoises. Elle produit des composés pour pots catalytiques et le marché d'électroluminescence.

Rhône Poulenc avait investi 40 millions en 1989 en Australie, Rhodia Pinjarra Pty Ldd 100 km au Sud de Perth, pas pour des TR mais pour le gallium récupéré comme produit secondaire d'une raffinerie d'aluminium, cela

avec solvant organique + résine échangeuse d'ion. Elle est fermée au bout de moins d'un an, ré ouverte en 1996, fermée en 1997, vendue en 1999 à l'américain Geo Speciality Chemicals qui fera lui-même faillite.

A-I-3. Nouveaux usages des terres rares

- Le mischmetal est utilisé en aciérie pour désoxyder et désulfurer l'acier (en formant des oxysulfides très stables de TR), un tiers des terres rares produites en Chine sert à cet usage.
- Les TR ont un rôle dans l'efficacité des pots catalytiques (dont les catalystes principaux restent les métaux rares, platine, palladium et rhodium).
- Elles participent en catalyseur dans les craquages pétrolier,
- Elles peuvent être ajoutées au diesel, dans le but de brûler les particules avant leurs émissions (cas des autobus d'Athènes).
- Le CeO₂ est utilisé dans le polissage du verre optique.

La transformation des sels en métaux, pour néodyme, yttrium, terbium, samarium est réalisée exclusivement en Chine.

▪ Les TR ont des applications variées comme éléments participatifs dans les **couleurs**. Les niveaux électroniques $5p$ et $5s$, saturés (cf. Fig. A-3), protège le niveau $4f$ comme une cage de Faraday. Cela explique la quasi insensibilité du niveau $4f$ aux effets du champs cristallin. En effet ils sont utilisés sous forme de composés donc avec des ligands, liens électroniques entre orbitales. La couche f est suffisamment profonde pour qu'il y ait peu de chevauchement avec les orbitales de ces ligands d'où des propriétés qui restent assez indépendantes des ligand et de leurs vibrations. Et réciproquement leurs états excités n'est pas absorbé par les ligands, pour les lasers, etc.

En conséquence, les transitions électroniques $f \rightarrow f$ se produisent entre niveaux discrets (qui sont nombreux), comme dans l'ion libre, et les absorptions ou émissions de lumière sont quasi monochromatiques, ce qui est un cas unique pour de la matière condensée (les atomes et molécules peuvent émettre ou absorber des photons de longueur d'onde bien déterminée en transitant entre deux états quantiques, et là entre états d'orbitales f).

Les bandes d'absorption sont donc généralement fines mais par contre faibles ce qui donne des couleurs pastel. Les spectres pour ces atomes du bas de la table des éléments qui contiennent beaucoup d'électrons sont compliqués.

- Il y a les applications en luminescence (émission de lumière sous l'effet d'une excitation extérieure). Le grand lancement a été, à partir de 1954 pour la télé en couleur, le rouge donné par l'euporium dilué dans de l'yttrium (pour le vert c'était sulfure de zinc activé par du cadmium, et pour le bleu activé à la fois par Cd et Ag). Dans les téléviseurs LCD et plasma, la couleur rouge et bleu est obtenue par l'euporium, le vert par le terbium (inclus dans un composé). Pour améliorer la sensibilité de détection en radiographie (et moins irradier les gens), les films sont placés entre deux écrans luminescents.

- Les lampes fluo-compactes ont un revêtement luminophore en TR.

- Des TR peuvent être mises dans des verres pour supprimer certaines longueurs d'onde spécifiques gênantes, pare-brise anti UV, suppression de la raie jaune pour les soudeurs;

- anecdotique, la coloration du verre (neodymium, rose à bleu-violet, et d'autres)

- erbium dans les répéteurs dans les fibres optiques ;

- lasers à l'état solide (depuis les années 1960), entre autre à partir du néodyme (luminescence infrarouge) et du terbium (la fusion nucléaire essaie d'utiliser ça mais la synchronisation n'est pas maîtrisée ni par les américains, ni par les français, c'est le *Laser Megajoule* au CESTA du CEA-militaire, commune Le Barp entre Bordeaux et Bayonne, 176 faisceaux, en construction depuis 1995, qui a déjà avalé € 6,6 milliards de budget public en 2009 ...). La chirurgie utilise aussi des lasers.

▪ Autre domaine d'application, celui du magnétisme. Plusieurs terres-rares ont des propriétés magnétiques exceptionnelles dues au fait que la sous-couche $4f$ comporte des électrons célibataires qui peuvent s'aligner, un nombre proportionnellement élevé par rapport aux éléments plus dans le tableau périodique des éléments utilisés jusque là.

Cependant cela n'est vrai que en dessous de la température ambiante, parce que le point de Curie (i.e. de perte du magnétisme) est au maximum de 20° donc inutilisable dans les applications courantes. Cependant elles servent dans des alliages. Les aimants permanents samarium-cobalt (SmCo₅ ou Sm₂Co₁₇, point de curie > 700°C) apparus dans les années 1970 ont une force magnétique élevée. Celle-ci vient du cobalt mais le Sm aide à bloquer le moment du Co ce qui rend la démagnétisation difficile. Mais Sm et Co sont chers. Les

composés frittés du neodymium ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, point de curie 310°C , dans la pratique pas utilisables au dessus de 150°C) apparus en 1984 ont une force magnétique encore plus élevée. Le Fer ne coûte rien et le Nd est le troisième TR en abondance.

- Les aimants Co-Sm peuvent être très courts. Cela permet un énorme gain de place et de poids avec un grand rôle dans la miniaturisation, informatique et connexes (tête de lecture des disques durs, écouteurs des baladeurs...).
- Les aimants $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ permettent de fabriquer des éoliennes géantes (jusqu'à 5 MW). Il faut 600 kg d'aimants permanent pour chaque MW de puissance, comportant 31 % de Nd et 4,1 % de Dy, soit en moyenne 186 kg de Nd et 24,6 kg de Dysprosium (ce dernier n'est pas donné) par megawatt. La production est faite à 75 % en Chine. Dès les années 1990 la demande augmentait de $> 25 \%$ /an.
- Une bonne partie des moteurs de voitures électriques utilisent aussi des aimants permanents neodymium-Fe-B (et actuellement avec un peu de Dy et/ou Tb pour monter le point de curie) et pourraient utiliser un quart du neodymium produit en 2030.

Les batteries Ni-MH (Nickel-metal hybride) ont un alliage de stockage de l'hydrogène incluant des terres rares pour l'anode (AB_5 avec A pouvant être du mischmetal, B est surtout Ni, avec un peu de Co, Mn ou autres ; alliage visé aussi pour stockage non dangereux de moteur à hydrogène) : « *Dans une batterie la teneur en terres rares (Ce, La, Nd et Pr) est de 7 % en masse. Dans un véhicule hybride, le poids de terres rares est de 12 à 15 kg dans les batteries, [et] dans une batterie AAA (LR3) de 1 g...* » (société chimique de France 2012).

- Il y a de nombreux usages militaires sophistiqués. Les batteries, les visées laser de toutes sortes, terrestres, aériennes. Les documents de défense des USA citent qu'ils utilisent les terres rares : les *cruise missiles Tomahawk*, les drone *Predator*, plusieurs types de bombes guidées, des appareils de brouille, etc.
- Actuellement China Rare Earth group High-Tech Co, une filiale du groupe Baogong, qui détient les raffineries de Baotou en haut de la boucle de la rivière jaune (fer d'abord, et TR ; 100 000 habitants en 1950, 2,5 millions d'habitants aujourd'hui), est le plus gros fournisseur de TR (60 % de production mondiale en 2019).

Les USA ont Moutain Pass actuellement en stand-by. Il y a un autre de ces mega projets, le plus avancé, au Sud du Groenland (Kvanefjeld dans le massif alcalin de l'Ilimaussaq qui est aussi un gisement d'uranium ; EURARE project, et Cie australienne). Il était prévu dans les années 2020 d'y construire un port et une raffinerie de ces minerais sur place.

A-I-4. Les résidus

- Dans la séparation des terres rares du thorium à l'acide chlorhydrique faible par exemple, les radium et plomb qui étaient présents dans la monazite vont avec les terres rares. On enlève le radium avec le sulfate de baryum (barytine; $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$) en précipitant du chlorure de baryum avec du sulfate de sodium. Le plomb (et donc les descendants du Pb-212 : bismuth, thallium, polonium) est éliminé avec du sulfure de sodium ($\rightarrow \text{PbS}$). Ce sont des déchets radioactifs. Pillai (2007 p. 213) indique que, avec les pratiques actuelles, entre 60 et 100 kg de ce type de déchets sont produits par tonne de monazite, que l'activité en radium 228 des premiers temps était de 10 millions de $\text{Bq}/\text{kg}_{\text{sec}}$, "le champs de radiation au contact" est 400 à 600 $\mu\text{G}/\text{h}$ (si c'est du bêta-gamma, 1 $\mu\text{G}/\text{h} = 1 \mu\text{Sv}/\text{h}$, et plus que ça en μSv s'il y a du alpha, ici il s'agit du contact).

Le gaz thoron (radon 220) emprisonné dans le réseau cristallin de la monazite est libéré lors de la dissolution. Il est éjecté lors de la désintégration alpha (sa période est très courte, 55 secondes, se désintègre alors en bismuth, polonium, thallium qui sont capturés sur des aérosols, muqueuses). Récemment, sur la base d'expérimentation de dissolution dans un fluide simulant le fluide organique, Zhukovsky et al (2007 p. 239) ont argumenté que le facteur de conversion de dose (pour passer de becquerels à des millisieverts) recommandé par l'UNSCEAR est sous-estimé d'un facteur 3 à 5. De nos jours, de tels endroits doivent être contrôlés, mais avant...

- A Serquigny la STR enterrait ses résidus à côté. Ils en retrouvent et en retirent au fur et à mesure de ré-occupation (par Arkema), ainsi que dans les sédiments de rivière en aval de l'ancienne canalisation (1986, 2004), un site de dépôt temporaire a été construit sur place pour 1600 m^3 classés FAVL, et le site, où ont du intervenir, CEA, BRGM, Alcade. IRSN... reste soumis à servitudes avec contrôles réguliers de la nappe phréatique pour U238, Ra228, Ra226, Th232.

Cette pratique d'avant guerre de se débarrasser des résidus aux alentours a continué à se faire longtemps après guerre, au CEA au Bouchet, à la STR/Pechiney à La Rochelle...

- A la fin des années 1980, c'est la jeune CRIIRAD avec des associations locales qui ont lancé l'alerte de la contamination de la baie de La Rochelle. De 1957 à 1974, période STR/Pechiney, l'usine a évacué tous ses résidus par un tuyau directement dans la Baie de Port Neuf en plein milieu de l'agglomération de La Rochelle (Davis 2001, p. 233). A partir de 1974 il n'y a plus qu'une partie des déchets qui y passent, qui étaient tout de même 5 fois au dessus des normes ("Le Cri du Rad", CRIIRAD, printemps 1988, p. 35 à 39).

D'autres (reliquats de non dissolution à 48 000 Bq/kg Th232) ont été mélangés avec des remblaiements pour l'extension du port de la Rochelle (61 000 t + 40 000 m³), certains sont sous des quais.

- Depuis 1974, et jusqu'à la fin 1990, l'usine de La Rochelle a expédié au moins une partie de ses "*résidus radifères (RRA) de type FAVL*" qui ont fini à Cadarache après un petit tour au Centre Manche. C'est 5120 tonnes en 25 320 fûts, activité massique 340 MBq/fût (Andra 2012a p. 372). Comme ceux de Serquigny ils "*doivent être stockés dans le futur centre de stockage pour les déchets FAVL.*" (ASN 2009, p. 20) que l'Andra prépare en Champagne à coté des deux sites proches où l'accumulation est en cours, "Soulaines" et Morvilliers dans l'Aube (problème, ils ont du nitrate qu'il « *faudrait* » retirer, mais retirer où ?, puis donc les reconditionner une deuxième fois).

~ 200 autres tonnes de "*résidus radifères dits RRA*" avec ~ 1,5 à 2 MBq/kg-sec étaient stockés à La Rochelle dans les années 2010 à coté de 8400 tonnes de "Résidus Solides Banalisés" (Andra 2012a p. 345).

- Les prosélytes d'une filière-atomique-thorium sont toujours aussi nombreux. Comme ça fait 70 ans que ça dure, c'est aussi l'âge du premier thorium extrait, et comme l'équilibre séculaire est atteint au bout de 10 périodes du fils le plus durable, qui est de 5,75 ans (Ra 228), le Th 232 a refait toute sa famille multipliant sa radioactivité par 5. Or il y a du genre de 21 000 + 11 000 tonnes d'hydroxyde et de nitrate de thorium dans les entrepôts Rhodia/Solvay La Rochelle. Rhodia a construit de nouveaux bâtiments d'entreposage, et renforcé des aires de dépôt, en 2006. Alors "*L'exposition maximale de la population estimée par Rhodia*" (voisinage) due à ce thorium a été redescendue à 0,34 mSv/an ce qui n'est pas rien. Et avant 2006 elle était de ?

- La grosse mine/traitement de Mountain pass dans le désert du Mojave 80 km au SW de Las Vegas au bord de la Interstate 15 (MolyCorp, filiale de Unocal Corp) a du stopper en 1998 pour des problèmes d'environnement.

- A Baotou, la ville de Mongolie intérieure qui raffine le minerai de la mine de Bayan Obo qui est 150 km plus au Nord-Ouest, en 2006, il y avait déjà 149 millions de tonnes de résidus de séparation (tailings) faiblement radioactifs, couvrant 11 km² (Caro et Christmann 2012).

- Il en sera forcément de même au Groenland (plus radioactif puisque là c'est aussi un minerai d'uranium) lorsque/si il sera/est mis en exploitation.

Annexe II. Complément biographique

A-II-1. banque Worms

Siège social 45 Boulevard Hausmann à Paris. Les affaires de la banque Worms n'ont pas faibli pendant l'occupation, bien au contraire. « *Le « commissaire-administrateur des banques ennemies »... venu de la Deutsche Bank, von Falkenhausen... était aussi installé (de juillet 1941 à la libération) au « 45, bd Hausmann, [chez] Worms & Cie. »* (Lacroix-Riz 2013, p. 19).

Lacroix-Riz (2013, p. 16) : « *Car une main ferme guidait ce bric-à-brac recruté depuis 1933-1934 et surtout 1936 pour élargir l'infime base sociopolitique de la synarchie* : les « deux chefs de la banque Worms, Jacques Barnaud et Gabriel Le Roy Ladurie » ou le quarteron dirigeant, « Gabriel Le Roy Ladurie, le sphinx, l'augure, l'éminence grise de la banque Worms », flanqué des « trois hommes, connus de longue date à Paris, Jacques Barnaud, François Le hideux et Pierre Pucheu », et des « satellites immédiats du.. noyau de la "cellule Worms", dont « Jean Bichelonne et... Jacques Guérard ». Ces synarques liés au Comité des Forges l'étaient aussi avant guerre à « leurs "homologues" de l'industrie lourde et de la finance allemande, les Cuno, le Hugenberg, les Thyssen, les Krupp » » (les parties internes en citation sont de la revue suisse *Le Curieux* du 25/05/1944).*

* "Synarchie" : mot signifiant gouvernement simultané de plusieurs princes administrant les diverses parties d'un État. Dans son usage politique, MSE, *Mouvement Synarchique d'Empire*, il désigne la volonté d'accaparement exclusif des affaires publiques par une équipe confidentielle d'industriels et de financiers qui a comme marque de fabrique l'anti-bolchevisme et déteste la République qualifiée volontiers de judéo-maçonnique. Il y a à l'origine une société synarchique secrète dans les années 1880. Une refondation a lieu en 1922, puis un élargissement au fil de l'entre-deux-guerres. Le rapport le plus célèbre sur la Synarchie est celui du policier H. Chavin daté juin 1941 qui donne les noms des « 46 affiliés les plus importants ». La grande majorité sont des polytechniciens, il y en a beaucoup aussi de Sciences Politiques, ceux-là sont les inspecteurs des finances, il y a des des Conseillers d'État, et d'autres plus divers. Le cabinet de l'amiral François Darlan était un club synarchique quasi-pur.

Gabriel Le Roy Ladurie était fondé de pouvoir (un des chefs sinon le chef du Mouvement Synarchique d'Empire, avec son bras droit Bouthillier; Lacroix-Riz 2010 p. 36, 42) qui a été un moment le plus gros bailleur de fonds du parti PPF, Parti Populaire Français, de Jacques Doriot (Lacroix-Riz 2013, p. 17).

Léon Cayla qui a été gouverneur général de la colonie Madagascar de 1930 à 1939 que Pétain-Laval y renvoie en août 1940 pour appliquer la *Révolution Nationale* avait rejoint ce parti PPF de Doriot. Cette fois il ne reste pas longtemps dans la Grande Île, jusqu'à avril 1941. On le retrouve notamment à faire un discours à une réunion du PPF à la salle Wagram le 16 sept. 1942 (Lacroix-Riz 2013 p. 60 et 664). Mais c'est pour être nommé dans l'hexagone administrateur de la Banque de Madagascar et administrateur de la BNCI, Banque Nationale pour le Commerce et l'Industrie, profondément engagée dans la collaboration économique avec le III^{ème} Reich, notamment pour l'aéronautique mais pas que.

Hyppolite Worms (et son homme de service Anatole de Monzie) est l'actionnaire emblématique mais non unique de ce groupe bancaire et financier. François Lehideux était un *attaché*.

Jacques Barnaud, X-inspecteur des finances francisque n° 137 (sur patronage de Du Moulin de Labarthète et Ménétre) est dir. de cabinet du ministre à la production industrielle, René Belin, à partir de juil. 1940. C'est lui qui est derrière les deux décrets, signés Belin, créant les comités d'organisation (CO, 16 août 1940) et l'Office central de répartition des produits industriels (OCRPI, 1er septembre 1940) : c'est à dire les mesures phares de « l'économie dirigée » mise au service du Reich jusqu'à l'été 1944, qui vont donner de fait le pouvoir, la direction économique coté français, aux élites collaboratrices.

En 1942 il est Délégué général aux relations économiques franco-allemandes à Paris auprès du ministre des finances. Il est au C.A. de Air France. L'X-Mines J. Blancard (2009) qui a été à la Direction des Carburants lors des années 1950, là où étaient prises les décisions pour les permis pétroliers et au moment où on commençait à trouver de bons gisements dans la colonie algérienne raconte cette anecdote :

« Les capitaux privés français, longtemps indifférents à la prospection pétrolière qu'ils estimaient trop aléatoire... commençaient à s'y intéresser. Un jour, vers 1957, je reçois une demande d'entretien de deux banquiers. Ils entrent dans mon bureau. Le premier se présente : « Barnaud, Banque Worms. - Enchanté, Monsieur. » Et le second : « Georges Pompidou, Banque Rothschild. - Enchanté, Monsieur. ».... ». **Jean Blancard lui-même adjoint au Directeur des carburants du régime de Vichy de mars 1942 à la fin de la guerre; s'il**

mentionne cette rencontre pour dire qu'il ne connaissait pas G. Pompidou, savait par contre fort bien qui était Jacques Barnaud.

Pierre Pucheu, normalien, au service du comité des forges de 1925 à 1937, il est ensuite salarié par la banque Worms qui lui confia les Établissements Japy (machine de bureau, 100 % Worms), déjà en très bon rapport avec le Reichsmarschall Goring avant guerre, bien connu d'Abetz. Il avait quitté les Croix de feu pour le PPF de Jacques Doriot en 1936. Il est Ministre de la production industrielle en février 1941 puis opte pour l'Intérieur en juillet 1941. C'est un sauvage et efficace anti-"rouge", sauvage anti-résistants, il crée un service de police spécial anti-communiste (le SPAC), a assisté à la torture du philosophe communiste Georges Politzer. Il est entre autres très mêlé à l'affaire des repréailles à l'assassinat du col. Hotz à Nantes suite à quoi 98 otages, les 3/4 des communistes choisis, sont fusillés (Lacroix-Riz 2016, p. 182 à 201). Inquiet de sa réputation, il commence à faire les yeux doux à quelques (vrais) gaullistes à partir de mi 1942, surtout vers les américains, et a complètement retourné sa veste en 1943 (Lacroix-Riz 2013, p. 532).

François Lehideux était marié à une nièce de Louis Renault, il prend la suite de P. Pucheux à la Production Industrielle. « *le plan automobile conclut par Lehideux avec le général [Adolf] von Schell [chef suprême de l'automobile] et l'important transfert des commandes pour lequel les capacités de l'industrie française [avaient] été dans une large mesure mises à disposition de l'économie allemande, y compris pour la pure et simple production de guerre* » (Lacroix-Riz 2013, p. 19).

L'X-mines **Jean Bichelonne**, prend la suite de F. Lehideux, Secrétaire d'État à la production industrielle dans le gouvernement Laval de 1942. Il est pierre angulaire de l'intégration économique franco-allemande.

Jacques Guérard est inspecteur des finances, il a été dir. de la banque franco-chinoise en 1925, conseiller économique du Shah d'Iran entre 1935 et 1938, président de la Cie d'assurance *La Préservatrice* en 1940. Fin juin 1940 à la veille de l'armistice il est nommé directeur de cabinet de son ami Paul Baudoin [Inspecteur des finances, DG de la. banque d'Indochine de 1931 à 1940 puis de 1941 à 1944] devenu ministre des affaires étrangères où il reste jusqu'en octobre. Par décret de Pétain-Bouthillier, il devient Président du Comité binational Allemagne-France d'Organisation des Assurances 1940-1942.

En 1941, il accompagne le diplomate nazi Rudolf Rahn en Syrie pour étudier les modalités d'un appui français à la Luftwaffe. Puis il est pris *Secrétaire Général à la Présidence du Conseil* de P. Laval le 18 avril 1942 où il reste jusqu'en août 1944 étudiant les dossiers avec les allemands.

Helmut Knochen (gestapo) dans un interrogatoire en 1946 répondra que J. Guérard fréquentait son bureau avenue Foch (Lacroix-Riz 2013, p. 21). « *Collaborationiste exceptionnel, ce chef PPF et « homme de sang » à la Pucheu... Il se rendait avec ce dernier [Darnand], « secrétaire général au maintien de l'ordre, en différents points du territoire pour prononcer l'éloge funèbre de G.M.R. [groupes mobiles de réserve] et de miliciens tués à la suite d'opérations dirigées contre le maquis. Grand admirateur d'Henriot... Ambitieux et hautain, il faisait preuve de la plus grande obséquiosité à l'égard des occupants qu'il saluait selon la méthode allemande* ». *Intime des chefs de la Gestapo, tel Knochen et « le Général von Keller (rue Laugier), directeur de la Police politique allemande* » qu'il inondait de mots « affectueux ». Il « participa [...] à toutes les mesures prises par Pierre Laval contre les maquisards, réfractaires au STO » et réclama aux Allemands en février 1944 « huit mortiers de 81 [...] et des fusils pour les forces de maintien de l'ordre et la Milice, pour anéantir les maquis des Glières ». *Espion du Reich stricto sensu aussi, il lui facilita ses opérations anti-britanniques outre-mer, y compris « en Syrie en 1941 ».* » (Lacroix-Riz 2008). Il a du s'enfuir avec les nazis, mais après un petit passage chez Franco, comme la plupart des élites sera de retour dans les affaires en France courant 1955 comme si de rien n'était (Lacroix-Riz 2004).

▪ Ces personnages ont collaboré massivement avec le III^{ème} Reich, partageant beaucoup des idées du National Socialisme en tant que anti-rouges.

Il sont pendant l'occupation des hommes-clés du régime nazi dans tous les domaines. Un grand nombre (25 sur 36) des Comité d'Organisation, C.O., avec le Reich était sous influence directe de la banque Worms (assurance, automobile, aluminium, produits chimiques, pétrole, énergie électrique, ferro-alliage, métaux non ferreux, etc.). Ce sont des raisons du pouvoir démesuré en rapport à ses capitaux de cette banque de taille moyenne sous l'occupation. Une note de 1942 sur la banque Worms écrivait : « *On peut se demander comment cette banque... a pu acquérir sous le régime de Vichy cette situation de premier plan dans la vie politique et économique française... Il y a tout lieu de penser que cette réponse devrait être recherchée en se rapportant à l'activité souterraine que l'Allemagne déployait dès avant la guerre en France. [...] La banque Worms servait [vraisemblablement] de canal pour financer en France l'activité de la Cinquième Colonne. Ceci expliquerait la prédilection de certains milieux allemands pour cette banque...* » (Lacroix-Riz 2013, p. 23).

A-II-2. Dautry, Raoul

(1880-1951)

- Raoul Dautry, polytechnicien, a d'abord été, pendant 35 ans, de 1902 à 1937, un Directeur de travaux (voies et cités de cheminots) et entretiens puis grand Directeur tout court, dans les chemins de fer. Il commence dans la Cie privée des chemins de fer du Nord, présidée par le baron Edouard de Rothschild (qui habitait dans son hôtel rue Florentin à Paris). En 1912 il s'est rendu aux USA où il a visité la gare du Pennsylvania Railroad et le chantier en cours de la gare de Grand Central à New-York. S'il sera nommé Ministre de la Construction et de l'urbanisme en nov. 1944, c'est parce que de 1919 à 1924 il était responsable en dehors des voies de la supervision de construction des dites « cité-jardin » un modèle social défendu à l'époque adopté dans la reconstruction d'après guerre dans les régions endommagées. C'est la *garden-city* britannique promue en France par le juriste Georges Benoit-Lévy : centres ouvriers en dehors de la ville où il est possible de faire du jardinage et du sport avec l'idée de santé morale. Pour R. Dautry ça sera surtout celle de Tergnier pour 2000 cheminots en place de terrains agricoles le long de la gare de triage de cette petite ville. Il n'y a pas de maison à détruire, pas de nettoyage, etc. ce qui allège les coûts. La cie du Nord a édifié plus de 12 000 maisons. L'idée de départ de la direction est de favoriser la productivité par le social (mais une autre idée viendra se supplanter à celle des dites « cités jardin » dans le Conseil National de Résistance, la "sécurité sociale", et la défense du concept d'un urbanisme comme « outil de la réforme social » à une seule catégorie professionnelle a disparue). Puis, à partir de 1928, il passe aux chemins de fer d'État qui étaient alors essentiellement le réseau Ouest avec 85 000 salariés. Son secrétaire particulier à partir de 1933 a été **Jean Jardin** (formation sciences-Po), qui s'occupait de la partie relations publiques. R. Dautry est encore là après la création de la SNCF en 1937 comme société d'économie mixte, SNCF où J. Jardin lui, restera. Les deux hommes ont en bonne partie le même carnet d'adresses.
- Actif dans les arcanes politiques par ailleurs, en 1927 R. Dautry était vice-président du *Redressement français* créé par Ernest Mercier, le magna de l'électricité et du pétrole, avec Raphaël Alibert et d'autres, créé pour lutter contre "la menace bolchevique", mais plus pragmatiquement contre le cartel des gauches, les lois laïques, etc. Occupation plus discrète encore son nom figurait sur la liste du 17 avril 1937 de la « *société fasciste appelée France 1950* » ou « *F. 1950* » à coté de celui de E. Mercier, E. Giscard d'Estaing et des directeurs de banque. "F. 1950", un groupe d'étude structuré, mais surtout de liens, dont le siège était celui du « groupe Nervo » 2, rue Lord Byron (Lacroix-Riz 2010, p. 18-20, p. 38, 252-3). En mai 1935, période de grande instabilité financière et politique, R. Dautry était l'un des membres d'un Comité Technique assemblé par Pierre Laval (idem p. 114) d'où vont sortir les si impopulaires "Décrets-lois Laval" de juillet 1935. Et pour commencer la baisse autoritaire des salaires pour des milliers de familles de cheminots ce qui n'allait pas le rendre populaire dans son propre fief. Il a été remercié en juin 1937 par le Front populaire.
- Sa carrière était devenue multiple. Il est devenu président de la Compagnie Générale d'Électrometallurgie, des houillères de Ronchamps, vice-président de la Compagnie Générale d'Entreprises Électriques, et au C.A. de la SNCF, de la Cie Parisienne de l'air comprimé, de la Compagnie Générale d'Électricité, de la Compagnie franco-polonaise des chemins de fer et de compagnies d'assurances (au pluriel non nommées). Lorsque le gl. V. Denain trois jours après les émeutes devant le parlement, le 09/02/1934, sous les gouvts. Doumergue, Flandin et Laval, est nommé ministre de l'air (qui choisit René Giscard d'Estaing comme Directeur de cabinet) Raoul Dautry est Président du Conseil de Direction de la Compagnie Générale Aérospatiale. « *Le général Victor Denain... « on lui reprochait un certain despotisme et un favoritisme par trop flagrant dont jouissaient certains industriels », parmi lesquels Raoul Dautry, président du conseil de direction de la compagnie générale Aéropostale. Alors ennemi de toute « réduction du budget de l'aviation », Dautry avait soutenu la « grande réunion publique » convoquée salle Bullier le 27 janvier 1933, présidée par le maréchal Franchet-d'Espérey et promue par La Liberté, L'écho de Paris, L'Ami du peuple, L'Action française, l'hebdomadaire Les Ailes, etc. »* (Lacroix-Riz 2010, p. 118).
- « *La direction de la SNCF de 1937, qui avait hérité des grandes compagnies privées les structures et le haut encadrement animateur de l'impitoyable guerre de 1920 contre les cheminots taxée de « bataille de la Marne civique », avait un but identique. Ce club polytechnicien était devenu dans les années 1930 un fief synarchique sous la double houlette de Raoul Dautry et Jean Berthelot. Dautry, ancien directeur général des chemins de fer de l'État... avait... dirigé le Redressement français d'Ernest Mercier, dont il était « l'homme de confiance... Coqueluche du grand patronat, obsédé par la réduction drastique des effectifs, Dautry,*

grand synarque du secteur « Mines et métallurgie » – avec Jean Bichelonne, Jacques Lenté (futur président de l'UIMM*), Robert Lousteau, Jacques de Nervo, Maurice Olivier, Henri de Peyerimhoff, Pierre Pucheu et Pierre Waline (secrétaire général de l'UIMM) –, était si haï des cheminots pour son application des « méthodes de déflation imposées par MM. Doumergue et Laval » qu'on lui avait prévu d'autres fonctions à l'été 1936. Berthelot, « chef de l'exploitation » de l'ancien « P.O. » (Paris-Ouest), nommé en août 1938 par Monzie « directeur de [son] cabinet » des Travaux publics, avait organisé la réquisition des dockers préparatoire à l'affrontement général : ce grand synarque, « ancien camarade de Polytechnique » de Jacques Barnaud, était un « ami de la Banque [Worms] et du groupe de ses administrateurs » » (Lacroix-Riz 2008).

* UIMM, Union des Industries Métallurgiques et Minières

▪ R. Dautry écrit aussi dans la revue *Nouveaux Cahiers*, créée en 1937 par l'X-banque Worms Jacques Barnaud qui distillait un pragmatisme funeste au Front Populaire (Lacroix-Riz 2010, p. 255).

▪ Raoul Dautry est dans la liste 29 novembre 1938 du Comité directeur du *Comité France-Allemagne*, CFA, avec Georges Scapini et Fernand de Brinon comme présidents et vice-président (Lacroix-Riz 2010, p. 316). Coté allemand il y avait bien sûr Otto Abetz aux succès fulgurants depuis 1936-37 et son bras droit Julius Westrick (qui travaillait avec Louis Darquier). Il s'agissait, avec beaucoup de mondanités, d'entretenir la flamme sacrée chez les partisans du rapprochement franco-allemand et de discuter du péril rouge (voir "juif").

Le *Comité France-Allemagne* avait été inauguré en grande pompe au palace Georges V le 29 novembre 1935 avec O. Abetz et J. von Ribbentrop, ministre de affaires étrangères de Hitler. Ses statuts ont été déposés le 01/01/1936.

« Mais les véritables fondateurs du comité France-Allemagne sont ceux qui sont à l'origine du « Comité franco-allemand d'information et de documentation » (CFAID) basé au Luxembourg, sur l'initiative de Mayrisch, président de l'Arbed. Le CFAID fut constitué en 1926, dès la phase dite de réconciliation qui a accompagné la constitution du cartel de l'acier. Parmi les fondateurs, on a les Schneider, les Laurent, Peyerimhoff, du Comité des Houillères, Duchemin, président de Kuhlmann et de la CGPF, Wladimir d'Ormesson, Schlumberger et d'autres. Ils étaient la partie fondamentale du futur comité France-Allemagne qui s'est installé d'ailleurs à la même adresse que le CFAID. »

« Le CFAID, créé en 1926, est le fruit des réunions hebdomadaires des représentants des firmes métallurgiques françaises et allemandes présidées par François de Wendel, chef du Comité des Forges, qui ont créé un premier cartel à cette date. Les premiers accords de cartelisation du charbon, les Accords de Importscharstrassburg, furent négociés par René Mayer de Rothschild et, en 1928 est créée la Compagnie générale charbonnière, société mixte franco-allemande. Pour ce qui est de la chimie, un accord de cartel provisoire franco-allemand est signé le 15 novembre 1927 par la Centrale des matières colorantes (Kuhlmann) et l'IG Farben. Il avait pour but le « contingentement de la production d'après les chiffres d'affaires respectifs des deux parties, la répartition des marchés, et la suppression de la concurrence ». » (Lacroix-Riz 2006)

● Drôle de guerre

Lacroix-Riz (2010, p. 527-9; le style haché vient de ce que, entre guillemets internes, elle cite les archives telles quelles) :

« Le 13 septembre, Daladier créa sur mesure le ministère de l'Armement, dépendant directement de lui, pour Raoul Dautry... Le rapport [de police] Chavin* – rédigé alors que Dautry était lié au camp de la collaboration... désigna... [Dautry]... comme le grand pourvoyeur des administrations en synarques « en 1939 » (pendant la guerre). Un dossier ultérieur sur la synarchie, classant Dautry dans le secteur « Mines et métallurgie » avec Jean Bichelonne, Jaques Lente, Robert Loustau, Jaques de Nervo, Maurice Olivier, Henri de Peyerimhoff, Pierre Pucheu et Pierre Waline (secrétaire général de l'UIMM), confirma les découvertes d'Henri Chavin : « Le ministère de l'Armement [tomba] entièrement entre [les] mains [...] des membres de la Synarchie [...] au côté de **Bichelonne** et sous l'autorité de Dautry. ». Dautry aurait gâté autant la cagoule : « Toute l'administration fut infestée de "cagouleurs" et le recrutement du CSAR se développa au sein des hauts cadres de l'armée, dans les services de fabrication de guerre, dans tous les rouages d'importance stratégique [...] depuis le brigadier planton jusqu'aux grands chefs de son ministère, il y avait des cagouleurs défaitistes et traîtres. »

« ... sous couvert d'empêcher les saboteurs rouges de nuire à sa « politique industrielle »... Le « grand ingénieur humaniste » et « patriote »... aurait manqué de temps « pour forger les armes de la France ». L'ancien capitaine en mission à Varsovie devenu le général Beaufre préféra se retrancher derrière un « un des ses camarades chargés de l'armement » pour qualifier de « traître » un Dautry acharné à bloquer ou

réduire la production de guerre qu'il prétendait augmenter. Dautry obtint à cet égard des « résultats [...] accablants (ou probants) : « aucun progrès » de la production aéronautique, « 60 avions [...] en] septembre 1939, et encore 60 avions en avril 1940 ; [...] pour l'armement terrestre, c'est encore pire : « chute verticale » de « la production d'octobre 1939 [...] par rapport à celle de septembre », production encore inférieure en mai 1940 à celle d'octobre 1939 pour beaucoup de matériel ». Il s'était entouré à cet effet d'un vivier synarcho-cagoulard, constitué des « affiliés les plus importants » (Chavin*), phares de la « reconstruction de l'Europe » : Jacques Barnaud, Jean Bichelonne, Henri du Moulin de Labarthète, Jacques Guérard ; ou moins notoires, ses amis de la « société secrète fasciste [...] F. 1950 », Francis Hekking et Paul Planus, etc. Crémieux-Brilhac ajoute... d'autres affiliés distingués : François Lehideux, Roger Nathan, Alexis Carrel (dont précise Baudouï, « Dautry a apprécié la philosophie ») ; de moins distingués du clan Belin... et l'homme de la CGPF et de l'UIMM, Lambert-Ribot, un des ordonnateurs des émeutes de 1934.

Jacques Barnaud, mentor de Belin, fut en septembre 1939 « maintenu comme affecté spécial à la maison Worms et C^{ie} au titre de la Marine marchande » Dautry le nomma en octobre 1939 « chargé de mission au ministère de l'Armement... En janvier 1940, Paul Reynaud, lui rendant le poste de « haut fonctionnaire » abandonné en 1927, lui remit « l'ensemble des Finances extérieures »... Dautry, en compagnie de Reynaud et Daladier, rappela une fois de plus Moulin de Labarthète [ancien camelot du roi]... en lui confiant en décembre 1939 « une mission d'achat d'armement en qualité d'attaché financier auprès de l'ambassade de France à Madrid » [cela juste après que, attaché des finances de l'ambassadeur Pétain à Madrid, il ait apporté au général Franco l'or républicain espagnol qui était entreposé à la Banque de France (Cotillon 2002)]. Ainsi le guide suprême de Pétain, chargé des négociations franco-allemandes traitées via Franco et Madrid..., put-il peaufiner en toute quiétude aux côtés du Maréchal les formules tant du putsch que de la défaite militaire. » ; « Paul Planus, pilier des comités Coutrot, fut nommé « attaché au ministère de l'Armement pour l'organisation scientifique du travail en 1939-40 ». »

* Henri Chavin était chef de la Sûreté Générale de Vichy

▪ « ... le synarque Raoul Dautry, fondateur simultanément de la SOFMA, « société d'économie mixte [...] de fabrication de matériels d'armements », contrôlée par **Schneider** pour « les 11/15e du capital » (Lacroix-Riz 2008, aussi 2010 p. 521).

▪ « Dautry... le 20 novembre 1939 lança-t-il la Sûreté nationale aux trousseaux de « requis civils, originaires d'Algérie », qui avaient fui l'enfer des Hauts-fourneaux de Rouen. Les préfets de l'Hérault, des Pyrénées-Orientales et des Bouches-du-Rhône furent chargés de remettre la main sur les fuyards, que Dautry accusait d'avoir agi sous « l'influence de l'organe syndicaliste algérien le "Destour" ». « Les causes de ces départs » ou des « incidents » entre « la direction [de la société] et les ouvriers algériens » (« 180 environ ») furent énoncées le lendemain par le contrôleur général de la SN Sarbach : « Les ouvriers algériens [...] ont manifesté un certain mécontentement, se plaignant d'un travail excessif et pénible (70 heures par semaine comme chauffeurs dans des fours à coke). Certains ouvriers feraient 12 à 18 heures par jour. À la suite de protestations, 87 ont quitté l'usine pour regagner l'Algérie (40 d'entre eux seront ramenés). Il ne peut donc être question de l'influence de l'organe syndicaliste algérien le "Destour". La direction leur retire leurs pièces d'identité pour les obliger à rester à l'usine, aussi certains d'entre eux, pour partir, abandonnent-ils leurs papiers et leur paye. » (Lacroix-Riz 2008).

● Fin juin 1940 J. Bichelonne directeur de cabinet du ministre de l'armement R. Dautry depuis sept. 1939 passe directement dans la délégation française de la commission allemande d'armistice (où toutes les grandes décisions chiffrées sont prises).

● Pendant l'occupation, Raoul Dautry s'est dit "ermite" dans sa résidence secondaire à Loumarin sur les pentes du Lubéron dans les oliviers et les cyprès au dessus de la Durance. Il a repris des activités dans des sociétés : C.A. de la Cie internationale des Wagons-lits qui est restée intacte à la fin des hostilités et qui continuait à faire les liaisons avec les pays voisins en gardant sa part de capital français (et où R. Dautry et R. Mayer étaient de longue date représentants de l'État qui en est le plus gros actionnaire, ayant épongé les dettes à quelques reprises), la Société Générale des chemins de fer économiques « etc. » (le "etc." est dans les CV). Ne monte-t-il jamais dans ces trains dont il contrôle la bonne gestion entre grandes villes européennes, pour par ex. aller rencontrer d'autres membres du CA à la direction qui est Bd Haussmann à Paris ? à Vichy ? Parce que son collègue au même C.A., R. Mayer (parenté Rothschild, qui a été Administrateur et vice-président de la Cie des chemins de fer du Nord), dit qu'ils disposaient d'une carte de circulation leur permettant de voyager partout. Celui que P. Pétain nomme au transports le 06 septembre 1940 est l'X-Mines Jean Berthelot Secrétaire de R. Dautry 3 mois plus tôt (de plus comme cela est rappelé

sur la fiche de francisque n°578 de J. Berthelot il est « directeur adjoint de la SNCF »). Celui que P. Laval nomme aux transports en avril 1942 est R. Gibrat alors J. Berthelot glisse à la SNCF.

Jean Jardin, le longtemps fidèle serviteur de R. Dautry aux chemins de fer est alors au sommet de l'État, Directeur du super cabinet de Pierre Laval (Présidence du Conseil + portefeuille de l'intérieur + celui des affaires étrangères + celui de l'information), et, d'après son petit fils il signe (p. 262) avec « *le stylo en argent de Dautry* ». A. Jardin écrit que son grand-père Jean affectionnait « *les habitudes élégantes de la compagnie des wagons lits* » (Jardin 2010, p. 265). Jean Jardin est venu 3 fois à Loumarin voir Raoul Dautry en juillet 1942 (Lacroix-Riz 2013, p. 215).

Hélène, fille de R. Dautry, est en 1941-42 avec son mari Jacques Lucius (Conseil d'État) en Tunisie où il est Secrétaire général adjoint du gouvernement vichyste de Tunisie dont le Dir. du Service des Mines est l'X-Mines Pierre Guillaumat. Les productions minières (fer, phosphates) vont au Reich mais aussi, suite aux accords Vichy-Reich, on fournit de la nourriture, du combustible, et du matériel à l'Afrika Korps qui se bat contre les anglais en Cyrénaïque (cf Guillaumat II-2-1., [là](#)).

- A la libération, du 16 nov. 1944, jusqu'au 20/01/1946, Raoul Dautry est nommé Ministre de la Construction et de l'urbanisme du Gouvernement provisoire.

Pour ce faire il a fallu discrètement : « ... *Raoul Dautry, dirigeant du Comité France-Allemagne rayé à la libération par la sûreté nationale d'une liste incompatible avec la fonction ministérielle gaulliste*¹⁸¹.

¹⁸¹ *De la Reconstruction, liste CFA au 28 novembre 1938, « Nouvelle interpellation sur [s]es membres », 14 juin 1945, et audition 149/14 de Feihl par Bergé, 1^{er} septembre 1946, F7, 15327, Grimm et Feihl, AN (Choix et Vichy, index) » (Lacroix-Riz 2013, 50 et 663)*

avec quelques oublis cependant... :

« *Mais en juin 1945, elle [la direction des RG] présenta au grand nazi Friedrich Grimm au cours de son interrogatoire la liste des dit membres « à la date du 28 novembre 1938 » : y figurait Dautry, un des « principaux personnages avec lesquels l'intéressé était en contact » (presque tous les autres sont des hitlériens notoires).* » (Lacroix-Riz 2008).

- C'est Raoul Dautry qui le 03 janv 1946 devient le premier administrateur (i.e. chargé des liens avec le gouvernement) du CEA, *Commissariat à l'Énergie Atomique*, et le sera jusqu'à sa mort en 1951.

A-II-3. Denivelle Léon

(1905-1992)

- Léon Denivelle est ingénieur chimiste de l'École Supérieure de Chimie de Mulhouse, ESCM, en 1926, où il est assistant puis chargé de cours puis professeur en 1936 à 31 ans. Pour cela il avait passé une thèse à Strasbourg en 1929 sur le comportement des chlorures des acides trichlorométhane et tribromobenzène. Il cherche les propriétés et usages du chlorure de sulfuryle, SO₂Cl₂, la réactivité pour établir d'autres composants. Ensuite il passe une thèse ès science en 1937 à Paris : « les esters aromatiques et de l'acide sulfurique ». En 1937 il prend la direction du laboratoire du caoutchouc (par pyrolyse des diester de butane-2,3-diol). A ce moment il côtoie J. Blumenfeld, administrateur de la société chimique Tann et Mulhouse, TM où apparemment L. Denivelle est aussi administrateur (cf. plus bas).

Il est pris dans le jeune CNRS pour le domaine des plastiques en 1939 (et y restera après la guerre, en section chimie organique).

- Mobilisé en 1939 il est appelé au cabinet de R. Dautry, ministre de l'armement.

« *A l'armistice, il est à Bordeaux avec son ami F. Joliot et ils suivent les conseils du ministre Bichelonne de rester en France.* » (Meybeck et Wahl 1993). Scientifiques connus, ils avaient leur place s'ils le souhaitaient sur le vapeur *Broompark* qui part presque devant eux avec H. Halban, L. Kowark, etc. (Kropfinger 1997, p. 68). Dans un premier temps L. Denivelle suit son École de Mulhouse qui s'est repliée à Lyon en zone libre mais...

- Dès le début 1941 il accepte de prendre une chaire de chimie au CNAM dans Paris occupé (son ami F. Joliot se trouve bien au Collège de France), de chimie tinctoriale. Mais le *Syndicat de l'industrie française de caoutchouc* est dans son laboratoire avec un ingénieur dédié et évidemment pendant la guerre l'industrie française du caoutchouc travaille pour le III^e Reich.

Il va rester professeur au CNAM jusqu'en 1974 parallèlement à ses gros autres postes dans l'industrie et ailleurs.

- « *Léon Denivelle, administrateur, comme Blumenfeld, de Thann et Mulhouse, rapporte que « pendant la guerre, il s'est créé un groupe de gens, amis de Joliot et décidés à l'aider – je crois que l'idée a été apportée par M. Grégory et M. Blumenfeld-, Parce qu'il ne recevait plus de crédits, à lui apporter des crédits ou un*

ou deux collaborateurs, ce qui a été fait, qui seraient payés par ce groupe là ». De ce groupe, Denivelle cite le président de Saint-Gobain, le baron Hély d'Oissel, et de Vitry, pour Pechiney, Berr, directeur de Khülmann avant la guerre mais touché par les mesures antijuives, et Hyppolite Worms. (...) C'est ainsi que le **SEDARS*** est créé en 1943 avec des objectifs industriels clairement affichés... .. délibération du conseil d'administration de la STR, le 23 décembre 1943, qui décide une « prise d'une participation de 150 000 francs » dans le SEDARS... (...) Il est géré par Le Roy Ladurie, Grégory et Denivelle. Une dizaine de sociétés ayant à voir avec les technologies impliquées dans le fonctionnement du cyclotron y apportent une participation, en tête desquelles la banque Worms. Elles sont représentées par leurs dirigeants. Outre ceux dont Denivelle se souvient, ont trouvé Jacques Barnaud, Robert Gibrat, François Lehideux, c'est-à-dire les représentants les plus connus du monde Worms, des « synarques » liés à Vichy. Outre que Vitry dirige le comité d'organisation pour l'aluminium, Lehideux celui de l'automobile, pour citer ces deux exemples, montre bien l'importance qu'on accorde à ces personnages dans le monde industriel » (Pinault 2000, p. 225-30).

* SEDARS, Syndicat d'Étude et le Développement des Applications de Radioéléments Synthétiques, créé pour la construction de 2 cyclotrons importants sous le leadership de Frédéric Joliot.

- La guerre terminée et les activités sous le régime collaborationniste vichystes vite oubliées, en 1945 Frédéric Joliot prend Léon Denivelle comme Secrétaire général du nouveau **CEA**.

« C'est en fait Pechiney, un autre « grand trust », qui se taille la part du lion avec le traitement de l'uranium attribué à la STR [Société des Terres Rares] et la purification du calcium. La décision de pousser Denivelle, l'homme de Pechiney, au secrétariat général du CEA prend du coup une autre importance, d'autant qu'il devait quitter toutes ses positions dans des affaires industrielles et n'en a rien fait. Guéron juge troublante l'attitude de Joliot à son égard : « Je me rappelle de quelques conversations dans le bureau de Joliot avec Raoul de Vitry, qui était à l'époque chez Pechiney et qui dirigeait la Société des Terres Rares et étaient à la fois des amis personnels de Joliot... ..Quels services Denivelle avait-il rendus pendant la guerre à Dautry ? Je ne sais pas." (cité in Pinault 2000, p. 349).

Jules Guéron constate que L. Denivelle avait de l'emprise sur F. Joliot et R. Dautry. Mais pourquoi ? peut-être parce pendant la guerre il pouvait leur obtenir beaucoup des choses pratiques qu'ils voulaient absolument ? ou cela vient d'un travail discret pour le SEDARS qui implique des personnes avec qui L. Denivelle était lié. « On n'a jamais trop su à ce propos, et Joliot était particulièrement discret sur le sujet. Je ne sais pas si Goldschmidt vous en a parlé... (...) mais on le sentait, on en a parlé plus d'une fois, que en fait Joliot avait promis des brevets au SEDARS. Et après la guerre, il était embarrassé. - [Wear :] Mais qui était SEDARS en dehors de Joliot et Denivelle, ça devait être des industriels ? - [Guéron :] Ça c'est sûr, en particulier il y avait Pechiney – [Wear :] Pechiney bien-sûr – [Guéron :] Raoul de Vitry, le patron de Pechiney, qui était jusqu'à un certain point le patron de la Société des Terres Rares... .. et je pense que Denivelle a joué un rôle très important dans tout ça... .. vous voyez c'est très opaque... .. et Joliot grand parleur qu'il était n'en n'a jamais dit un mot... .. et l'issue de la guerre a changé tout le décor.. Mais même s'il y a eu un accord tacite que tout cela était quelque chose du passé, si ce qu'on pense est vrai, cela a du être lourd à porter pour Joliot. (...) Vous voyez, pourquoi Denivelle a-t-il été le premier Secrétaire Général du Commissariat ? » (Wear 1978).

- Parlant de L. Denivelle au CEA [J. Guéron :] « il était impliqué dans ses tâches avec les industriels, il avait ses affaires personnelles, c'était un conflit d'intérêt permanent. Et Joliot, le communiste acceptait tout ça. Vous voyez, c'est pourquoi je dis qu'on sentait toujours la salle affaire du SEDARS. ». Et encore plus loin, Wear lui demande si une opposition à F. Joliot ne venait pas de ce qu'il n'était pas polytechnicien, qu'il n'était pas membre du club, [Wear :] « ...qu'il ne rentrait pas particulièrement dans leur jeux... - [Guéron :] Je pense qu'il était un peu trop rentré dans leur jeux... [plus loin :] ... ceux qui ont fait des accords avec lui dans le SEDARS pendant la guerre, s'il y a eu des accords secrets, certainement ne voulaient pas plus que lui que la lumière soit faite. Toute l'affaire était enterrée avec la discrétion la plus absolue. Mais comme je dis, dans ces accords avec les Terres Rares et ainsi de suite, vous sentiez la chose... » (Wear 1978).

[Guéron :] « et un jour, très abruptement Joliot a dit : « On fera ça avec les Terres Rares »... Goldschmidt et moi étions mécontents... .. Nous n'étions pas certains que les Terres Rares étaient ce qui fallait pour ça. En fait, on a très vite vu qu'ils voulaient nous mettre une usine délabrée à La Rochelle. On n'a pas aimé l'intervention de Denivelle pour cela. On sentait une sale affaire connectée aux accords du SEDARS ». Puis il dit qu'ils ont du complètement ré-écrire le contrat car « le premier projet qui venait probablement de Denivelle, ou peut-être tout droit de la Société des Terres Rares... » (Wear 1978).

En 1948 L. Denivelle démissionne du Secrétariat du CEA, poussé par J. Guéron, B. Goldschmidt et L. Kowarki qui lui reprochent d'être entre deux chaises avec Pechiney. J. Guéron avec F. Joliot à propos de L.

Denivelle : « *Nous nous sommes beaucoup disputé avec lui parce que nous considérions que comme secrétaire général il ne faisait pas son métier, qu'il était beaucoup plus le représentant de certains industriels aux Commissariat.* » (cité in Pinault 2000, p. 349).

- Mais on retrouvera L. Denivelle pour le CEA. Il est membre du Comité d'équipement industriel établi en 1952 (F. Joliot n'est plus au CEA depuis avril 1950). Ses membres étaient nommés pour 4 ans et il y côtoie l'X-mines Louis Armand de SNCF, Pierre Ailleret frère du col. Ailleret (de la future) bombe, Maurice Aicardi juriste proche de Félix Gaillard et le Directeur du service des poudres Fleury. C'était pour le programme du plan quinquennal 1952-57 qui visait à obtenir les premiers 15 kg de plutonium, donc les "piles" de Marcoule à construire, donc les milliers de tonnes de graphite à fabriquer (Chedde, Pechiney), donc le combustible uranium à fabriquer (Bouchet et Annecy), donc l'usine d'extraction UP1 (construite par St Gobain), etc. (Mongin 1997).

- En 1948 (quand il quitte le Secrétariat du CEA) L. Denivelle entre à la société des produits chimiques de Thann & Mulhouse (TM). Depuis 1922 TM était associée à la Société des Terres Rares, STR, de G. Urbain, et avait J. Blumenfeld comme administrateur. Ce complexe de Thann faisait de l'oxyde (puis tétrachlorure) de TiO_2 à partir de sable ilménite sur un brevet de J. Blumenfeld.

C'était « un complexe industriel de quatre sociétés juridiques liées entre elles. La plus ancienne... TM... En 1931, les Mines de Potasses et TM fondent la société Potasse et Produits Chimiques (PPC). A la même époque, se joint aussi une petite société, Organico... (...) Avant 1940, le site de Thann comprenait une électrolyse de chlorure de potassium produisant potasse, chlore, hydrogène, acide chlorhydrique, hypochlorite. A côté, des chambres de plomb fabriquaient l'acide sulfurique nécessaire à l'attaque de l'ilménite pour obtention du dioxyde TiO_2 . Quelques autres productions complétaient l'ensemble (cérium par exemple). » (Meybeck et Wahl 1993)

- Étant en bordure de la « poche de Colmar », TM a été endommagé pendant la Libération. Il a été décidé de réparer. « *Grâce à l'énergie de J. Blumenfeld [revenu des USA] et de Jacques Ourisson en 1945-47, la production dans l'ensemble était voisine de celle d'avant guerre. Mais à la fin de 1947, Jacques Ourisson décédait brutalement. Léon Denivelle, alors âgé 42 ans, devint président-directeur général de PPC (1948-1977), Vice-Président de TM (1948-1956) puis Président-Directeur Général (1956-1971) d'Organico. Pendant 30 ans, il sera le maître de Thann...*

Habitant Paris, il se rend pratiquement chaque semaine à Thann et reste en communication téléphonique quotidienne avec l'usine. ». Il décide en 1950 de doubler les capacités pour atteindre 15 tonnes par jour de dioxyde de titane (4000 t/an). « *c'est aussi doubler la capacité de l'acide sulfurique. Au lieu des chambres de plomb, Denivelle choisit le procédé Kachkaroff... L'expérience de STR permet la production d'oxyde de zirconium qui conduit à des applications pour... l'élaboration du métal demandé par le Commissariat à l'Énergie Atomique. Parallèlement, le brome obtenu à partir des résidus de sylvinite permet la synthèse de l'acide bromhydrique et des bromures alcalins puis de quelques bromures organiques dont Thann deviendra peu à peu le producteur quasi exclusif... (...) Mais Thann ne s'y prête guère car les problèmes de pollution et l'évacuation des résidus se posent.*

Il faut choisir un autre site... Denivelle porte son choix sur Le Havre... vaste terrain entre le canal de Tancarville et la mer... les moyens de TM ne suffisent plus. Il faut s'associer avec Pechiney et Saint-Gobain, déjà actionnaires par l'intermédiaire de STR... Une nouvelle Société, Les Produits du Titane, est constituée avec 50 % du capital pour TM et 25 % pour chacun des autres partenaires. Denivelle en est le premier PDG mais grâce à l'amitié de Vitry (Pechiney) et d'Hely d'Oissel puis de Vogüé (Saint-Gobain), il conserve une assez grande liberté d'action... En décembre 1957, la fabrication peut commencer... Mais de très graves difficultés surgissent avec l'administration locale et les marins pêcheurs... Lorsqu'il quitte PPC en 76 et TM en 77... la production du TiO_2 est de 180 t/j au Havre et 69 t/j à Thann. ».

- L. Denivelle a aussi été administrateur de Rhône-Poulenc Industrie, Soudières Réunion, Valentinoise d'Application Textiles, Schaeffer et Cie, Schaeffer Engineering, Société Alsacienne de Banque.

A-II-4. Gibrat, Robert

(1904-1980)

Sorti de X-mines, il a été tout de suite (1929-30) envoyé à l'école des mines de Saint-Étienne où il enseigne l'électricité industrielle, de la minéralogie. Il en devient sous-directeur (jusqu'à 1935).

- Au début des années 1930 il participe au groupe de réflexion autour d'une revue « *Ordre nouveau* » lancée en mai 1933, contre la "décadence" et le "matérialisme américain" où se font des contacts, R. Loustau, Jean

Jardin (alors en train de devenir l'homme des relations publiques de Raoul Dautry dans les chemins de fer), P. Pucheu.. (annales.org).

- Il participe au mouvement X-Crises (CPEE, Centre polytechnicien d'Études Économiques) en 1936 (Dard, O. "Voyage à l'intérieur d'X-crise").

▪ Robert Gibrat figurait sur toutes les listes policières des grands synarques (incluant bien sûr celle des « 46 » du rapport Chavin). « *En la riche années 1933, « la banque Worms... (...) « Travail et Nation, filiale de la Synarchie »⁷¹, qui groupa des synarques tels que « Gibrat, Guérard, Barder, Marion, Lehideux, Bichelonne, Benoist-Méchin, Pucheu, Du Moulin de Labarthète »⁷², « fournirait les premiers cadres PPF »⁷³. » (Lacroix-Riz 2010 p. 31, 120). [PPF, Parti Populaire Français de Jacques Doriot]*

⁷¹ Entrée du 29 octobre 1940, Journal de Nicolle, PJ 39, APP ; ⁷² Témoignage sur Barnaud devant Mathier de Pierre Vallé, auditeur à la Cour des comptes, 14 décembre 1945, PJ 40, Barnaud, APP ; ⁷³ Tract sur la synarchie annexé à lettre 23/3 du préfet de l'Allier, Moulins, 4 novembre 1941, F7 15343.

▪ En 1937 R. Gibrat pantoufle dans le groupe de la *Société Générale d'Entreprise*, SGE, où il s'occupe de la production et distribution d'électricité dans le massif central et dans le Nord.

Il y côtoie des personnes qui seront des relations très utiles par la suite. L'X Jean-Marie Louvel qui venait de prendre la direction du service électrique de la SGE en 1937, à partir du nouveau parti MRP créé fin 1944 sera le président de la Commission parlementaire de l'équipement qui préparera les conditions et statuts de EDF et GDF en 1946-49, ou encore l'X Paul Huvelin, futur patron des patrons, qui est alors directeur de la *Compagnie d'électricité de la Loire et du Centre* de 1940 à 1946, filiale de la SGE, et qui est au C.A. de la SGE (Mauboussin 1996).

▪ Il donne par ailleurs, de 1936 à 1940, des cours d'électricité industrielle à l'École Supérieure des Mines de Paris.

● Sous le régime de Vichy, Robert Gilbrat prend le poste de Directeur de l'Électricité sous le Secrétariat à l'Énergie l'X-mine Henri Lafond du premier gouvernement Pierre Laval en octobre 1940 (mois de la poignée de main Pétain-Hitler et du 1^{er} statut des juifs). Il est maintenu à son poste sous les cabinets Flandin puis Darlan.

▪ En avril 1942 R. Gibrat passe Secrétaire d'État aux transports du deuxième gouvernement Laval (Fernand de Brinon, René Bousquet...). Il y remplace Jean Berthelot qui glisse à la SNCF.

En mai 1942 le secrétariat au transport conclut avec le *Reichsverkehrsministerium* (Ministère des transports du Reich) la vente de 1000 véhicules via notamment la carrossier Sylvain Floirat de zone libre qui les achetait (avec notamment du crédit de la Banque de France) de l'armée française pour les vendre au Reich en se faisant du bénéfice.

Son ami de militantisme politique Jean Jardin est maintenant le Directeur du super-cabinet de Pierre Laval (Présidence du Conseil + portefeuille de l'intérieur + celui des affaires étrangères + celui de l'information). Jean Jardin connaît très bien les trains qu'il a rejoint avec R. Dautry en 1933 et était à la SNCF, et c'est R. Gibrat qui est maintenant chef des transports et Berthelot à la SNCF. En cette année 1942 la population française voit passer des trains en partance vers l'Est, dont l'occupant remboursait le coût jusqu'à sa frontière, dont aucun de ces experts avisés des chemins de fer ne semblent s'intéresser au curieux ratio nombres de voyageurs / nombres de wagons, sans parler de toilettes et places assises etc.

Alexandre Jardin un jour a refait le chemin de son grand-père (Jardin 2010, p. 177-8) :

« *J'ai pilé devant un panneau de signalisation qui indiquait sur la droite : « Beaune-la-Rolande 5 km ». Bouleversé, j'ai soudain pris conscience de ce que le camp de Beaune-la-Rolande – où les naufragés du Vél d'Hiv avaient été, pour une bonne part, parqués avec leur enfants – se trouvait sur la route Vichy-Paris, dans le Loiret, à trois heures de route à peine du bureau du directeur de cabinet de Pierre Laval. Juste après un bled aux sonorités paradoxales : Longcourt. Long comme ma propre vie et court comme celle des déportés.*

Le Nain Jaune [Jean Jardin] avait-il tourné à droite – entre le 22 juillet et 17 août 1942 – en regagnant Paris à bord de sa Citroën 15 CV au moteur gonflé et pourvue de vitres à l'épreuve des balles ? Histoire de constater les effets concentrationnaires de la politique qu'il mettait en œuvre ; et de faire la risette aux quatre mille enfants que son gouvernement avait logé là, avec des gendarmes comme nounous et des miradors en guise de chaises hautes ? » [que ces trains de France, dont avaient la responsabilité les X-Mines R. Gibrat et Jean Berthelot ont emmené ensuite à Auschwitz, aucun enfant n'est revenu]

▪ Robert Gibrat a été au moins au banquet élites III^e Reich-France du 28 octobre 1942 à l'hôtel Ritz auquel assistait également René Bousquet, Henri Ardant président de la Société Générale et d'autres du même acabit (Lacroix-Riz 2013 p. 516, 539).

▪ Les polytechniciens J. Berthelot et R. Gibrat menaient une lutte pour purifier leurs services de « menées communistes », « gestes anti-allemands », « sabotages », « détention de tracts », etc. ; « Robert Gibrat, successeur ministériel en avril 1942 de Berthelot... fit aussi bien. Ses lettres mensuelles sur « les mesures prises par la SNCF pour lutter contre les menées communistes » semblent calquées sur les rapports de la Préfecture de police au MBF [Militärbefehlshaber in Frankreich]. Gibrat décrivait les « types nouveaux de tracts », les sabotages, avec ou sans explosifs, les modes de « surveillance active » étendue aux « ex-agents licenciés », les « perquisitions » avec fouille des coffres de machines, armoires, vestiaires, paniers et agrès des agents de train. « Les consignes », précisait-il, sont « rappelées périodiquement aux agents dirigeants ou responsables des divers services ou établissements ». Il « chiffrait les « éliminés », 1229 à la date de juillet 1942 : 907 « communistes révoqués ou licenciés » et 322 « internés ou incarcérés » dont 201 par les autorités françaises et 121 par les autorités allemandes (dont 18 « agents ou anciens agents fusillés » et 13 « exécutés »)", chiffre passé à 1247 le mois suivant. L'« élimination » s'élevait alors à une vingtaine par mois : en août 1942, Gibrat compta 1247 « éliminés » (chiffres respectifs de 908 et 339, dont 212 et 127). La collaboration entre commandement du groupe Paris-Mobile-garde des communications et direction de l'exploitation SNCF de la région Nord avait permis « d'établir ou de renforcer la surveillance spéciale des points délicats ou importants », etc. Le successeur de septembre 1942 de Gibrat Bichelonne (jusqu'en août 1944 [sorti major de l'X]), ne relâchât pas l'effort, déployé avec Bousquet par « l'augmentation des gardes des voies de communication et leur armement », Bichelonne rendait souvent visite à Oberg... » (A. Lacroix-riz 2013, p. 147, p. 516, 597).

● En novembre 1942 R. Gibrat conduit une mission d'inspection sur les travaux du chemin de fer Méditerranée-Niger.* « Bien que surpris à Alger par le débarquement allié, il [R. Gibrat] revient à Vichy par loyauté envers le maréchal. » (Valode 2011).

* Les X-mines aux transports à Vichy s'étaient dévoués à l'avenir du chemin de fer Trans-saharien (Colomb-Béchar-Tombouctou) que ce parlement, enfin répudié, avait toujours retardé. Le projet mobilisa « des représentants de la Deutsche Bank, de Rheinische Stahlwerke entre autres », « Le 8 décembre 1941, Berthelot, qui avait exalté l'épopée sur les ondes de Radio-Paris [hyper-collaboratrice pour ne pas dire allemande] « inaugura le premier tronçon de Trans-saharien », dont le cours de la guerre compromit la suite. » (Lacroix-Riz 2013, p. 395-6). Le plus gros problème était celui de la main d'œuvre en région désertique aussi Vichy y implantait ses camps de prisonniers, dans ce cas itinérants sous tentes « Il fait froid en hiver: la température peut approcher de 5 centigrades la nuit en hiver, mais les nuits, durant le reste de l'année, ont une température interdisant pratiquement le sommeil. En été, et pendant le travail, il faut boire jusqu'à 8 ou 10 litres par jour, et rester 8 heures sans boire peut exposer à de graves traumatismes, voire à la mort. » (trainconsultant.com, [là](#)). Cette ligne devait passer par Reggane, zone que l'armée française utilisera différemment 20 ans plus tard.

▪ Fin 1943, Robert Gibrat comme J. Bichelonne est impliqué dans le CEDARS, ce projet de Frédéric Joliot de construire deux synchrotrons de taille importante sur financement du groupe Worms, de Pechiney, de Saint-Gobain, de Khülmann, pour ceux impliqués que l'on connaît.

● Robert Gibrat sera bien "interné administratif" au "Dépôt" en sep. 1944 avec Jacques Benoist-Méchin, condamné à "l'indignité nationale" et... ré-intégré à l'École des mines en 1946.

▪ Le tout neuf EDF le prend aussitôt comme ingénieur-conseil (officiellement pour l'usine marée-motrice de la Rance).

● Pendant presque 20 ans après la guerre, le « groupe Lafond », dix X-Mines vichystes, va se retrouver une fois par mois pour un repas amical : H Lafond, Fanton d'Andon, L. Armand, H. Noguét, P. Guillaumat... et Robert Gibrat bien sûr en est (témoignage de l'X-Mines Raymond Fischesser, Dir. de cabinet de Lafond sous Vichy, [in](#) [anales.org](#), [là](#)).

● A partir de 1955, et jusqu'à ses 70 ans en 1974, Robert Gibrat est Directeur Général d'INDATOM. C'est un groupement de sociétés suscité par le CEA pour ses réalisations industrielles, y compris la coordination (commencé de manière informelle pour les piles G1-G3) : Banque de Paris et des Pays-Bas, la Compagnie des Ateliers et Forges de la Loire (CAFL), la Compagnie Electro-Mécanique (C.E.M.), la Société Babcock et Wilcox, la société Neyrpic, Pechiney, la Compagnie des Forges de Châtillon, Commentry et Neuves Maisons (C.C.N.M.), la Société Saint-Gobain Nucléaire (S.G.N.), la Société Générale de Télégraphie sans fil (C.S.F.) (nombre de ces puissantes sociétés ont collaboré avec le III^e Reich, c'est précisément pour cela qu'elles sont puissantes, pas de problème de brouille de ce coté là). Nota : il n'y a pas que INDATOM comme groupement industriel annexe au CEA, l'autre est Groupement atomique Alsacienne Atlantique, GAAA.

INDATOM a construit des réacteurs-piscine (triton, avec quelques insatisfactions qui vaudra à R Gibrat une convocation à la direction du CEA ; Foasso 2007) et avait l'organisation de la construction du réacteur eau lourde expérimental d'assez grande puissance, El4, au lieu Brénilis. A cette occasion, R. Gibrat a du travailler avec la jeune recrue protégée de P. Guillaumat, le jeune Remy Carle, sorti de l'X en 1954. A l'EDF d'alors on reprochait à ces groupements de devenir des groupes de lobby sans concurrence.

- En 1955 R. Gibrat est Président de la Société Française des Électriciens. Il est aussi Conseiller Scientifique de la Société Creusot-Loire. En 1972 il a été Président de la section française de l'American Nuclear Society.

- Robert Gibrat a été le Président du Conseil Scientifique et technique du jeune EURATOM en 1962-1963.
- En 1966 est monté la SOCIA, SOCIété pour l'Industrie Atomique, pour répondre à la l'offre d'un réacteur graphite-gaz à l'Espagne franquiste (Vandellos) réplique de Saint-Laurent des eaux I et II alors en construction. Ce projet assez unique, les deux pays savaient la filière condamnée et peu compétitive économiquement, avait un caractère politique et avait été acté aux niveaux des deux gouvernements (crédits et prêts français, garantie du trésor français, achat par EDF des excédents de production mais livraison d'électricité à l'Espagne si la centrale avait des problèmes : le gouvernement français prenait à sa charge tous les risques). SOCIA comprenait 24 sociétés animées par 5 grands groupes : Alstom, Campenon-Bernard, Indatom, Groupement Atomique Alsacienne-Atlantique (GAAA) et Société d'Études et d'Entreprises Nucléaires (SEEN). R. Gibrat en devient Président du Conseil de surveillance en 1967, cela est à dire que lui était le représentant de ces entreprises faces aux gouvernements et même face au CEA.
- En 1969 Robert Gibrat est Président de la Société Météorologique de France.

A-II-5. Guillaumat, Pierre

voir [ici](#)

A-II-6. Pechiney – Raoul de Vitry, aluminium

▪ Raoul de Vitry d'Avaucourt (1895-1977) est un ancien X-mines (1922) qui quitte le fonctionariat en 1928 pour Pechiney où il va faire toute sa carrière : directeur en 1931, "administrateur-directeur général" en 1938, Pechiney connu sous le nom de Alais, Frogés & Camargue, AFC, a alors 15 usines à travers la France, mi en chimie, mi en métallurgie. Elles sont toutes dans la partie Sud du pays sauf une. En 1958 il devient PDG jusqu'à sa retraite en 1967.

● En 1940 suite à la défaite, dans le régime vichyste, c'est lui qui prend la tête du CO, Comité d'Organisation, de l'Aluminium et du Magnésium.

Pendant la guerre, "... se constitue l'Aérobrique, la Banque parisienne de l'aviation allemande, qui se cantonnera spécifiquement dans la fourniture au Reich d'aluminium et de magnésium. Tout comme le cuivre, il s'agit de matières premières rares et sensibles. Pechiney, un des leaders mondiaux de l'aluminium avant guerre, profite de ce partenariat imposé par les circonstances : ses bénéfices nets passent de 41 millions de francs en 1941 à 99 millions en 1943." (Collombat et Servenay 2014, p. 38).

▪ Paxton (1997, p. 409) : "Durant toute l'occupation, la production est restée très élevée (presque au niveau d'avant guerre) dans les branches qui étaient déjà fortement concentrées... L'aluminium n'avait jamais atteint des chiffres aussi impressionnants."

▪ Lacroix-Riz (2013 p. 76) :

« Les fonds Barnaud... décrivant jusqu'en 1943 les tractations du secteur (bauxite, aluminium, alumine et magnésium, duralumin), entamées en juillet 1940 et conclues sur de premiers contrats, en août-septembre 1940, de livraison d'aluminium, alumine et magnésium, tous produits en zone non occupée. Les industriels de la branche ne fournirent pas à Vichy des « experts » mais des négociateurs officiels... de 1940 à 1944. Depuis l'automne 1940, son principal négociateur à Wiesbaden et Paris sur les métaux non ferreux, de la mine à l'aluminium, fut Jean Dupin, DG de l'Aluminium français, « comptoir de vente », depuis 1911, de Pechiney et Ugine. Il était accompagné de ses pairs : Raoul de Vitry, DG et vice-président de Pechiney, administrateur d'Ugine, DG de Minerais et Métaux et responsable « des ventes de bauxites à l'exportation », président du Comité d'Organisation, CO, de l'aluminium et du magnésium – le premier des 25 CO « Worms » du rapport bancaire de 1941 – et premier des hôtes français prévus au petit déjeuner franco-allemand prévu à l'« Hôtel Ritz [...] dans l'intérêt du service européen de l'économie » de septembre 1941 ; René Piaton, président de Pechiney et chef fasciste lyonnais... »

[Pour plus de détails sur les contrats de fourniture d'alumine-aluminium au III^e Reich de 1940 à 1942, qui lui envoie du charbon d'Allemagne pour ce faire, voir Margairaz 1991]

- Pechiney vendait aussi au Reich, toujours en provenance de la zone Sud (comme Ugine et Kuhlmann, Saint-Gobain...) : acide sulfurique, chlore, chlorate, chloridine, carbure de calcium, perchlorate d'ammonium (Lacroix-Riz 2013 p. 177, 190).
 - En 1943, en pleine guerre, Pechiney lance la *Société des Hydrocarbures de Synthèse* conjointement avec la société allemande *Rhurchemie* (Michel 2012).
 - Dans le cadre de l'aryanisation en 1941, c'est Pechiney, via Raoul de Vitry d'Avaucourt, a qui a été confié les intérêts de J. Blumenfeld dans la Société des Terres Rares, STR, et qui la rachètera complètement en 1959. En fait la STR commence à devenir partie de Pechiney.
 - Les relations avec F. Joliot pendant la guerre, Pinault (2000, p. 225-30) :
 « Léon Denivelle... rapporte que « pendant la guerre, il s'est créé un groupe de gens, amis de Joliot et décidés à... lui apporter des crédits ou un ou deux collaborateurs, ce qui a été fait, qui seraient payés par ce groupe là ». De ce groupe, Denivelle cite le président de Saint-Gobain, le baron Hély d'Oissel, et de Vitry, pour Pechiney, Berr, directeur de Khülmann avant la guerre mais touché par les mesures antijuives, et Hyppolite Worms. (...) «... Le contrat avec la STR, une simple lettre de Grégory que Joliot lui retourne avec sa signature, a été précédé de rencontres avec Vitry et la société AFC... ... Joliot songe en effet aux applications industrielles du cyclotron et la nécessité d'en construire au moins un nouveau... C'est ainsi que le SEDARS est créé en 1943 avec des objectifs industriels clairement affichés... délibération du conseil d'administration de la STR, le 23 décembre 1943, qui décide une « prise d'une participation de 150 000 francs » dans le SEDARS... (...) Il est géré par Le Roy Ladurie, Grégory et Denivelle. Une dizaine de sociétés... sont représentées par leurs dirigeants. Outre ceux dont Denivelle se souvient, ont trouvé Jacques Barnaud, Robert Gibrat, François Lehideux, c'est-à-dire les représentants les plus connus du monde Worms, des « synarques » liés à Vichy. Outre que Vitry dirige le comité d'organisation pour l'aluminium, Lehideux celui de l'automobile, pour citer ces deux exemples, montre bien l'importance qu'on accorde à ces personnages dans le monde industriel. C'est le monde des « trusts » tels qu'on le décrivait en 1939. ».
 - A la sortie de la guerre, il y a une étroite collaboration entre le CEA dirigé par F. Joliot et la STR/Pechiney qui l'est par R. de Vitry. Cela est traité en Annexe A-I-2. On résume qu'il y a :
 - Sur décision personnelle de F. Joliot : la STR est chargée du lancement, de juillet 1946 à juillet 1948 de l'usine d'uranium du Bouchet, avec utilisation des techniques de purification par solvant ramenées d'Amérique par B. Goldschmidt, purification de calcium et la mise sous forme métallique de l'uranium.
 - De 1950 à 1952, la STR a construit une usine de crackage de la monazite IRE, Indian Rare Earths Ltd à Aluva/Alwaye dans le Kerala en Inde.
 - plus tard (1954, Guillaumat), il a été question un moment que la STR aille construire une usine uranium au Brésil.
 - Murdoch (1963, p. 7) :
 Le CEA "a été un producteur de Béryl et possède les plus grands gisements les faisant exploiter par la compagnie Pechiney de produits chimiques et électrométallurgiques..."
- De 1951 à 1964 :
- 1) Pechiney exploite le béryllium de Madagascar (pegmatites) pour le compte du CEA,
 - 2) travaille le béryllium sur son site de La Praz à St Martin-la-Porte, vallée de la Maurienne jusqu'à la fin des années 1970.
- C'est encore Pechiney que le CEA a choisi pour élaborer le graphite artificiel à partir de produits pétroliers-charbonniers, portés à hautes températures, nécessaire comme modérateur de neutrons dans ses réacteurs atomiques ZOE, E12, G1, G2, G3 (1947 à 1959). Ça a été des milliers de tonnes dans son usine de Chedde, située entre Sallanches et les glaciers de Chamonix. Il devait être d'une grande pureté surtout pour le bore absorbant de neutrons (< 3 ppm) (emploi de fluorures NaF, MgF₂, ± Cl₂...) sous contrôle de J. Guéron.
 - Ndong (2012, p. 281) :
 « en 1958, le CEA constitue avec la Compagnie Pechiney, la société de traitement des sables du sud de Madagascar (SOTRASSUM) pour exploiter les dunes côtières d'Antete à environ 30 km au sud-est de Toalagnaro/Fort Dauphin. L'usine de traitement est mise en service en août 1959... elle sépare... les différents minéraux pour produire jusqu'à 600 à 800 tonnes par an de concentrés à 95 % de monazite.»

Au départ le capital de Sotrassum est 50 % - 50 % CEA-Pechiney.

Cela allait de paire avec l'usine d'abord STR (devenue Pechiney, etc. jusqu'à Solvay actuel) de crackage de la monazite à La Rochelle qui est traitée en Annexe A-I-2. Le CEA récupérait le thorium de Pechiney qui gardait les terres rares.

▪ Au milieu des années 1950 Raoul de Vitry/Pechiney est pour 25 % dans le groupement avec Thann & Mulhouse et Saint-Gobain qui construit une nouvelle usine au Havre, *Les Produits du Titane*, pour la production de dioxyde de titane dont Léon Denivelle est le PDG.

A-II-7. Saint Gobain – Pierre Hély d'Oissel

L'ingénieur civil des mines (le baron) (Antoine) Pierre (louis) Hély d'Oissel (1887-1959) est Président de Saint Gobain depuis oct. 1936. Il était administrateur depuis 1929 et remplace le frère de sa mère, le comte Roederer. Il y avait des liens depuis plusieurs générations entre sa famille et cette énorme société de chimie minérale qui déjà en 1914 avait 38 usines en France et à l'étranger, 12 pour la fabrication des glaces en verre, et 26 pour la fabrication des produits chimiques.

- Son père Étienne (émile) Hély d'Oissel (1844-1915) était inspecteur des finances dans l'Empire. Après un début de carrière au Ministère des Finances, il fut détaché, en 1871, à l'Agence Financière du Gouvernement Français à Londres pour gérer, avec l'appui de la Banque Rothschild, les emprunts et les opérations financières relatives au paiement des indemnités de guerre dues par la France à l'Allemagne. Refusant sans doute de rester dans un corps des finances devenu à majorité républicaine, il se met en disponibilité en 1874, en démissionne en 1877, et passe à la gestion de son patrimoine et au monde des affaires. Il a été vice-président de Saint-Gobain de 1899 à 1915 et du chemin de fer Paris-Lyon-Marseille, PLM, Président (en 1898, au C.A. depuis 1891) de la Société Nouvelle de Charbonnage des Bouches du Rhône. Il a été aussi au C.A. de la *Société Générale du Crédit Industriel et Commercial* (museeminegreasque.com, [là](#)).

- Son oncle Paul Frédéric Hély d'Oissel (1840-1898) X-Mines est aussitôt administrateur de Saint-Gobain puis en sera vice-président, vice-président aussi des mines de Dourges (Pas de Calais), vice-président aussi de l'École libre des sciences politiques. Il a aussi fait créer des vignobles dans le Sud de la France et en Algérie (plaine de Bône, proche de la Tunisie). Il s'était marié à la fille du ministre président le Conseil d'État impérial.

- Son grand-père, Antoine Pierre Hély d'Oissel (1806-1883), d'abord conseiller d'État a été président de Saint-Gobain de 1852 à 1865 et a été conseiller à la Cour de cassation.

- Son grand oncle, cousin germain de son grand père, Jean Léonce Frédéric Hely d'Oissel (1833-1920), Saint-cyrien, a été un moment conseiller d'État, un moment député (1889-93), administrateur (1887), Vice-Président (1888) puis Président (1902-1914) de la *Société Générale* dont il a fait construire le siège grandiose au 29-31 Bd. Haussmann, 9^e. Il était aussi administrateur (1895) puis Président (1902-1920) de la Banque d'Indochine; aussi Vice-Président des chemins de fer de l'Ouest, Président des chemins de fer de l'Indochine et du Yunnan (1901), au C.A. et Vice-Président des Messageries Maritimes à partir 1904 (son Président est André Lebon, celui qui a fait *pacifier* la Madagascar par l'armée coloniale), et au C.A. de nombreuses autres affaires (bois tropicaux, charbon, cuivre, métallurgie en Russie...).

- Ancêtre de la famille (arrière-arrière grand-père de Pierre), Abdon Patrocle Frédéric Hély d'Oissel (1777-1833) préfet du Maine et Loire de 1809 à 1914 sous Napoléon, fait baron de l'Empire le 31/01/1810, député de 1827 à 1833 (Monarchie de juillet), actionnaire de la Manufacture des Glaces de Saint-Gobain (qui date de Colbert mais comme Société Anonyme, 1665) depuis 1807, en est nommé administrateur en 1830, vice-président en 1832, premier lien de la famille avec cette S.A St Gobain. Mais lui avait fait des études de médecine et avait qualification d'officier de santé.

E. Hirsch (1988), qui sera Directeur technique et Directeur d'usines chez un autre majeur, Kuhlmann, rapporte :

« En 1924, à la fin de mon service militaire, voulant entrer dans l'industrie chimique, je me suis adressé à l'association des élèves de l'École des Mines, qui a pris rendez-vous pour moi avec le directeur technique de Saint-Gobain, société datant de Colbert et la plus importante de la profession. Éconduit une première fois, j'ai dans ma naïveté insisté pour être reçu; l'entretien a été fort désagréable, mais ce n'est qu'après coup que j'ai compris la froideur de l'accueil : jamais aucun juif n'était entré dans la maison. (...) Éconduit pour raisons « raciales » par Saint-Gobain, je me suis présenté en février 1924 aux Établissements Kuhlmann, deuxième grand de l'industrie chimique en France.... »

Pierre Hély d'Oissel devient le PDG de Saint-Gobain après la défaite le 19 déc. 1940, et le reste jusqu'à son départ en 1953 à 66 ans.

Pourtant les archives de la Banque Worms ([site wormsetcie.com](http://site.wormsetcie.com), [là](#)) donne en juin 1942, Paul Grégory (X écoles de mines, administrateur de la Société des Terres Rares, STR, filiale de Pechiney, agissant comme Directeur de

cette STR pendant la guerre pour cause d'aryanisation) comme « *président-directeur-général de Saint-Gobain* », d'une filiale ?

- Comme tous les trusts, Saint Gobain travaillait pour le III^e Reich pendant l'occupation, à partir de la zone Sud : vente de pyrite cuivreuses, d'acide sulfurique, nitrate d'argent, insuline à la chlorhydrine sulfurique, articles de verre... (Lacroix-Riz 2013 p. 94, 177, 190, 192).

Pierre Hély d'Oissel a participé, comme un Jean Bichelonne, un André Laurent-Atthalin, Pdg de Paribas, etc. à au moins un des banquets du Ritz, celui du 13 mai 1942, mêlant 25 élites du III^e Reich à 25 élites collaboratrices de France (Lacroix-Riz 2013, p. 515).

- Pierre Hély d'Oissel/Saint-Gobain participe au financement du SEDARS, ce projet de cyclotrons de Frédéric Joliot (Collège de France) pendant l'occupation qui est géré par Le Roy Ladurie (B. Worms), P. Grégory (STR) et L. Denivelles (TM, CNAM).
- A partir de 1945 P. Hély d'Oissel est un des 11 membres du C.A. de la Compagnie des phosphates et du chemin de fer de Gafsa (CPCFG, présidé par le baron L. de Nervo).
- En 1947 une filial du groupe Saint Gobain, *La compagnie des produits Chimiques et Raffinage de Berre*, s'associe avec la Shell Française pour la création de la *Compagnie de raffinage Shell Berre*. Et elle crée de nouveau avec le groupe Shell une société pétrochimique : *Shell Saint-Gobain*.
- En 1950 la Compagnie de Saint-Gobain travaille avec le CEA (Bertrand Goldschmidt) à Fontenay-aux-roses sur une usine pilote pour produire de petites quantités de plutonium et mettre au point le procédé.
 - Ensuite c'est Saint Gobain qui fait les plans et qui construit, en tant qu'architecte industriel, avec Pierre Taranger, l'usine de retraitement de Marcoule UP1 (période Administration Pierre Guillaumat) mise en service à la fin 1958 pour sortir le plutonium des combustibles irradiés des réacteurs militaires G1, G2 et G3 (Barillot 1999 p. 55-6), afin de faire la bombe atomique.
 - C'est aussi St Gobain qui fait les plans pour l'usine d'extraction de plutonium *Eurochemic* à Mol en Belgique (Cie internationale avec 13 pays, proche de l'OECE, les plus gros financeurs étant l'Allemagne et la France).
 - Saint Gobain Nucléaire, SGN, était aussi partenaire du groupement Indatom formé pour construire des réacteurs, celui de Brennilis, un à Grenoble..., (dirigé par l'ancien collaborateur vichyste l'X-mines Robert Gibrat du « groupe Henri lafond » avec A. Fanton d'Andon, P. Guillaumat...).
- Au milieu des années 1950 P. H. d'Oissel/St Gobain est pour 25 % dans le groupement avec Thann & Mulhouse et Pechiney qui construit une nouvelle usine au Havre, *Les Produits du Titane*, pour la production de dioxyde de titane avec Léon Denivelles comme PDG.

Annexe III. Lexique des termes géologiques

- **almandin**, voir grenat
- **amazonite**, voir microcline
- **apatite**, phosphate de calcium, minéral commun, $\text{Ca}_5(\text{F, Cl, OH})(\text{PO}_4)_3$, souvent en cristaux en prisme terminé par une pyramide plus ou moins tronquée.
- **autunite**, phosphate hydraté d'uranium, donc radioactif, couleur jaune-verdâtre, hydraté car c'est un minéral secondaire de la zone d'oxydation des gîte uranifères. $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$. L'uranocircite est idem avec du barium : $\text{Ba}(\text{UO}_2)(\text{PO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$.
- **bastnaésite**, c'est un carbonate de terre rare avec du fluor, $(\text{Ce,La})(\text{CO}_3)\text{F}$. On en trouve à Madagascar dans un type de petites pegmatites fluoro-carboné vers Ambatofinandrahana à l'Ouest de Ambositra. Cristaux tabulaires jaune cire à brun. Composition du genre : Ce_2O_3 : 40 %, $(\text{La, Dy})_2\text{O}_3$: 36 %. Ce minéral forme le gros de la minéralisation de Mountain Pass (désert du Mojave 80 km au SW de Las Vegas) qui a été le plus gros gisement de terres rares de 1965 à vers 1985. La minéralisation terres rares de Bayan Oha, Mongolie intérieure, Nord de la Chine (à coté du fer : magnétite et hématite) est aussi la bastnaésite avec de la monazite, principal fournisseur mondial.
- **béryl**, silicate d'aluminium et béryllium, $\text{Al}_2\text{Be}[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$, cristaux en prismes hexagonaux dans les pegmatites, aux teintes variées, assez transparent (peut ressembler au quartz). Le plus courant est jaunâtre-verdâtre (l'émeraude est un béryl vert par la présence de chrome et vanadium).
- **betafite**, C'est un oxyde mixte avec comme métal le niobium (dans la table des éléments, sous le vanadium et entre zirconium et molybdène) ± tantale (sous le niobium dans la table), cela avec le calcium. La formule en simplifiant à l'extrême serait Ca Nb O_3 qui s'appellerait pyrochlore. Cette formule de base se complique à souhait par substitutions variables d'éléments (de comportement chimique proche) ce qui complique la formule parce qu'il faut atteindre la neutralité de charges. Ainsi la betafite est de ce groupe "pyrochlore" avec pas mal d'uranium (donc radioactive) et du titane et hydratée. C'est A. Lacroix qui l'a définie en 1912 sur échantillons proches de Bétafo pas loin à l'Ouest d'Antsirabé (il mesurait la radioactivité en suivant la méthodologie des Curies) mais c'est dans les pegmatites à Ambatofotsy qu'elle était assez abondante pour exploitation à l'époque du radium. On peut l'y trouver en cubes ou octaèdres (elle cristallise dans le système cubique) opaques-brun sombre mats. Formule approchée $(\text{U}^{+4}, \text{Ca})(\text{Nb, Ti})_3\text{O}_9 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. On aura une composition massique qui ressemblera à quelque chose comme : 20 % U_3O_8 , 9 % CaO , 50 % Nb_2O_5 , 10 % TiO_2 + divers
- **carnotite**, vanadate hydraté d'uranium et potassium, $\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$, généralement en masses cryptocristallines de couleur jaune serin. Composition massique ressemble à : 63,4 % d' UO_3 , 20 % de V_2O_5 , 10 % K_2O . Des gisements importants étaient connus aux USA dans un banc de grès Jurassique (taches jaunes bien visibles près de troncs fossiles) de l'ouest du Colorado et de l'est de l'Utah, ainsi qu'en Arizona et au Nouveau-Mexique. Il y en a un peu dans grès Isalo de Madagascar (§ II-5.).
- **chalcophile**, voir lithophile
- **columbite (Niobite)**, c'est un oxyde de niobium et de fer dont la formule la plus simple serait $\text{Fe Nb}_2 \text{O}_6$ mais il peut y avoir beaucoup de substitution : $(\text{Fe, Mn})(\text{Nb, Ta})_2 \text{O}_6$. Lorsque le tantale est dominant elle prend le nom de Tantalite. Grands cristaux tabulaires foncés opaques en général dans certaines pegmatites. Lorsqu'il y a du titane avec le niobium et le tantale, on parle de Fergusonite.
- **corindon**, Al_2O_3 (Al = 53%), en cristaux souvent gris-bleuâtres opaques à transparent, minéral très dur (Dureté = 9). Il existe des qualités gemme, le saphir est un corindon bleu (traces de titane et de fer), le rubis est un corindon rouge (traces de chrome). Les deux existent dans les *shear Zone* du Sud de Madagascar (en zones déficitaires en silice).
- DREM, Direction des Recherches et Exploitations Minières au sein du CEA, créée en 1946.
- **euxénite**, proche de la betafite, c'est un oxyde du type columbite. Mais chez l'euxénite on a des substitutions d'yttrium, terres rares et uranium (donc radioactif), système orthorhombique cristaux aplatis bruns à noirs, forme reconnaissable et lustrés sur cassures. Formule de type $(\text{Y, T-R, U, Fe}^{2+})(\text{Nb, Ta, Ti})_2$

O₆. Composition massique du genre (Ampangabe NW Antananarivo) : Nb₂O₅ : 28 %, Ta₂O₅ : 2,5 %, TiO₂ : 24 %, Y₂O₃ : 14 %, T-R₂O₃ : 10 %, UO₂ : 8 %, ThO₂ : 4,8 % + divers.

- Fergusonite, voir columbite

- **Forstérite**, olivine magnésienne, Mg₂[SiO₄], minéral habituel des roches plutoniques basiques (basalt, gabbros, péridotites...) mais qu'on rencontre dans le métamorphisme intense, par ex. dans des marbres à partir de la dolomite (carbonate calcaire-magnésien) qui n'y est plus stable.

- **graphite**, est du carbone pur comme le diamant (sa formule chimique est : "C"). Il a une structure atomique en feuilles. Chaque atome de carbone est lié à trois autres atomes de carbone en 3 liaisons covalentes (dites σ) dans un plan et qui sont très fortes (structure en cellules d'abeilles très régulière ou "en grillage", ou encore géométrie type benzène). Ces feuilles de carbone appelées graphènes montrent une résistance remarquable. Le graphite est inerte chimiquement, il ne s'altère pas, et il est réfractaire (à pression atmosphérique ne fond pas, se sublime à 3825 °C) d'où son usage en moules en fonderie.

Il reste un 4^{ème} électron à chaque atome, qui est dans une orbitale (dite π) perpendiculaire aux autres. Il est engagé dans des liaisons conjuguées avec les trois atomes voisins, ainsi dit "délocalisé", c'est à dire non accroché à un atome particulier. Ce partage permet à tous les atomes de carbone d'être à égale distance les uns des autres. Mais comme le motif de toujours le même atome est infiniment répété dans le plan, ces électrons là peuvent se déplacer librement le long des feuillets. Cela donne au graphite un comportement semi-métallique : bonne conductivité électrique (largement utilisé dans les électrodes) et thermique, mais seulement dans le plan des feuillets.

Ces feuilles ne sont par contre liées les unes aux autres que par des forces très faibles qui ont à voir avec l'orbitale π et/ou de Van der Waals. D'où le clivage micacé parfait très facile, origine du toucher onctueux et qui salit les doigts (ces feuillets sont extrêmement fins à notre échelle), à reflets sub-métalliques (le graphite à cause de cela et de son aspect "mou" avait longtemps été pris comme une sorte de plomb d'où ces noms qui lui étaient restés de plombagine ou mine de plomb). Il sert dans les usages lubrifiants. Il sert aussi traditionnellement à écrire, les couches externes étant facilement arrachées et marquant le papier (gris de fer). Son nom vient de *graphos*, écrire en grec (les mines de crayon actuelles sont un mélange de graphite avec de l'argile et une petite cuisson pour un usage prolongé).

Ces sortes d'espaces lâches répétés entre les feuillets font que la densité du graphite n'est pas élevée, 2 à 2,3 g/cm³. Il est hydrophobe aussi, et, lorsque fin après broyage, se prête à différentes premières séparations par flottaison.

- **greisen** (vieux terme de mineurs saxons), roche d'altération par la déstabilisation des feldspaths par les fluides. Elle est surtout formée de gros grains de quartz et de micas blancs souvent lithinifères et fluorés ± tourmaline, topaze, apatite... et métaux possibles (Sn-W). C'est le granite qui est altéré (voir pneumatolytique), l'encaissant aussi. Le terme est employé aussi en altération hydrothermale, le mica est alors la séricite et outre le quartz, il peut y avoir pyrite, fluorine, topaze.

- **grenat** voir [géologie](#) Annexe A-2-1.

- **hydrothermal**, les gisements hydrothermaux résultent de la précipitation de substances chimiques variées à partir d'eaux thermales, saumures, circulant dans les fractures, failles, fentes, microfissures. Cette précipitation est conditionnée par la saturation des solutions, les variations de température et de pression. Le remplissage est parfois rubané parallèle aux épontes. Il n'est pas rare d'y trouver des vides (géodes ou druses) dont les parois sont souvent tapissées de beaux cristaux.

On ne traite pas des "porphyres cuprifères", source majeure de cuivre, qui sont des systèmes hydrothermaux liés à des intrusions magmatiques peu profondes, particuliers en ce qu'il y a une large zone d'altération argileuse diffuse. Ces solutions thermales (qui peuvent être associées aux gaz, CO₂, H₂S, H₂, CH₄), celles à composante magmatique sont très acides, altèrent certains minéraux des roches encaissantes dont elles récupèrent des éléments.

Chaque cas est plus ou moins unique mais on peut établir la distinction suivante :

- Ceux de haute température (500 à 300°C) peuvent être proches des massifs magmatiques et fréquemment en liaison avec les gîtes pneumatolytiques. Mais c'est loin d'être toujours le cas, certains peuvent avoir une origine thermique, autre, comme des remontées de fluides suite à une orogénèse.
- Ceux de moyenne température, mésothermaux (300 à 150°C). Exemple, les filons à paragenèse classique dite PBGC (pyrite-blende/sphalérite-galène-chalcopryrite) = zone des sulfures plomb-zinc-cuivre, sont de ce type comme dans les Cévennes (en partie). La source chaude étant plus éloignée n'est pas toujours identifiée (peuvent être liés à épisodes tectoniques)

- Ceux de basse température, épithermaux (150 à 50°C ; chez des anglo-saxons épithermal commence à 300°C), rappellent les sources thermales actuelles en zone volcanique. Exemple les gisements d'or de Transylvanie en Roumanie. Aussi gisement de mercure d'Almaden en Espagne ou gisement d'uranium de la Crouzille, Hte Vienne. Peuvent être liés à épisodes tectonique.

- Très fréquemment, dans un même filon/zone, se succèdent, ou alternent plusieurs phases hydrothermales de type différent. Les stades postérieurs (dans l'ordre haute-moyenne-basse température) disposent des minéralisations antérieures qu'il peut remanier à leur manière (le gisement de Salsigne commence à haute température au dessus de 400 °C avec arsénopyrite (aussi appelée mispickel), etc. et continue à moyenne température avec déposition d'or, dernières minéralisations importantes vers 220°C).

▪ **hyperstène**, un pyroxène

▪ **ilménite**, oxyde de fer et titane, $FeTiO_3$ qu'il faudrait plutôt écrire comme titanate de fer ferreux, $Fe^{+2}Ti^{+4}O_3$. C'est un minéral accessoire commun de nombreuses roches éruptives (dans les premiers cristaux dans un magma) et métamorphiques, notamment du faciès granulite. Ex. de composition (ilménite du faciès granulite, Inde) : TiO_2 : 48,9 %, FeO : 43,2 %, Fe_2O_3 : 5,7 %. trouvée fréquemment en *minéraux lourd* dans les sables (densité 5 à 6). Elle est très faiblement magnétique (il faut disposer d'un aimant pour le voir).

▪ **ilmenorutile**, du rutile (oxyde de titane, TiO_2) avec niobium (jusqu'à 33 %) et fer, $(Ti, Nb, Fe) O_2$.

▪ **lithophiles**. En observant des comportements chimiques semblables dans les météorites et les fonderies de sulfures (Kupferschiefer à Mansfeld en Allemagne, vers Leipzig), V.M. Goldschmidt à partir de 1922 a divisé de manière empirique les éléments en lithophiles, sidérophiles, chalcophiles, une classification subjective de l'époque qui a ses limites mais reste connue.

- lithophiles (qui aiment la roche) : montrent une forte affinité pour l'oxygène, oxyphiles aurait été un meilleurs terme, et sont concentrés dans les silicates. On les trouve dans les parties gauche et droite du tableau des éléments [grande ou moyenne différence d'électronégativité entre atomes formant le cristal : liaison ionique dominante, même si le lien Si-O ne l'est qu'à 50%]

- sidérophiles (qui aiment le fer) : ont une faible affinité pour l'oxygène ou le soufre et vont préférentiellement dans les phases métalliques : Au, Pt, Co, Ni... [différence d'électronégativité pratiquement nulle entre atomes de l'alliage : liaison principalement métallique]

- chalcophiles (qui aiment le cuivre) : ont une forte affinité pour le soufre, qu'on va souvent rencontrer en gisements [petite différence d'électronégativité entre atomes formant le cristal : liaison covalente dominante]

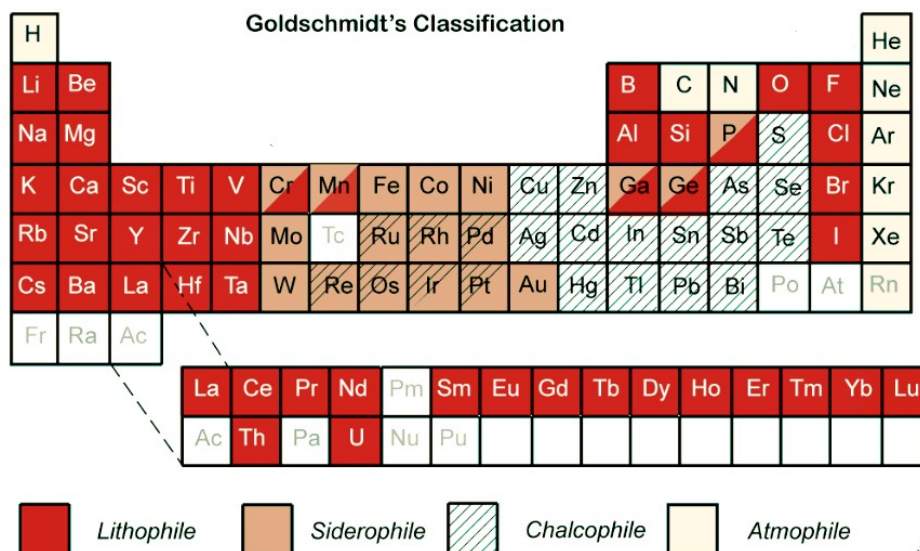


Fig. A-III-1. Classification de Goldschmidt (in White 2018, p. 800).

Cette classification de Goldschmidt était basée sur un système 3 phases, valable pour météorites et Terre entière (avec le noyau terrestre Fe-Ni). Au niveau croûte-manteau il y a une surabondance d'oxygène les sidérophiles ont peu d'opportunité de se comporte comme tels. Et il n'y a pas assez de soufre et les sulfures sont en trace. Ainsi un sidérophile comme le Ni, ou un chalcophile comme plomb vont se retrouver dans des phases silicatées. La plupart des sidérophiles sont un peu chalcophile et vice-versa.

Plus tard le raisonnement s'est fait sur l'électronégativité, l'énergie libre de formation ΔG^0_f . Celles des oxydes étaient connues aussi le raisonnement s'est fait sur elles. Les oxydes avec la plus basse (la plus négative) sont les plus stables et on comprend que ce sera la forme préférée plutôt que le métal (\rightarrow lithophiles, ex. $-\Delta G^0_f$ CaO = 604 kJ/mole/oxygène). Arrivé à FeO ($-\Delta G^0_f$ FeO = 245,9) c'est le domaine sidérophile, et les oxydes dont $|\Delta G^0_f|$ est bas sont généralement chalcophiles (comme $-\Delta G^0_f$ CuO = 127,6), (White 2013, p. 270-2).

- malacon, voir zircon
- **métasomatose**, migration de constituants autres que la phase fluide provoquant un changement de composition de la roche, dans le métamorphisme (de contact, régional...).
- **microcline**, feldspath potassique de même composition que l'orthose, $K(AlSi_3O_8)$, de plus basse température, qui cristallise dans un système différent (triclinique). L'amazonite est une microcline verdâtre.
- **microscope polarisant** pour la pétrographie, voir : [ici](#)

▪ **monazite**, phosphate de terres rares (cérium, lanthane..) \pm Yttrium \pm thorium : (Ce, La, Y, Th) (PO_4) , couleur caramel à brun-rouge, radioactif à cause du thorium.

La monazite peut être vue comme un oxyde mixte de formule ABO_4 . B est occupé par P^{5+} mais peut l'être par Si^{4+} . A est généralement occupé par une terre rare $^{3+}$ mais peut l'être aussi entre autre par Th^{4+} . Pour la neutralité ionique, soit avec Th^{4+} vient un Si^{4+} en B, soit en A on a un Ca^{2+} avec un Th^{4+} .

C'est un minéral accessoire plutôt rare dans les roches granitiques, syénitiques, pegmatitiques. Il est modérément résistant à l'altération, on le trouve en placers avec d'autres minéraux lourds, sa densité allant de 4,9 à 5,3. La monazite est le principal minerai de terres rares et peut l'être de thorium. Celle de la région de Tolanaro/Fort Dauphin qu'on trouve dans le sable de plage est particulièrement riche en thorium (et plus pauvre en terres rares) et il y a de gros cristaux et amas en veines pegmatitiques à une 30 aine de km au Nord de la ville au col de Manangotry, composition : Ce_2O_3 : 28 %, La_2O_3 : 14 %, Nd_2O_3 : 9 %, P_2O_5 : 26,5 % ; ThO_2 : 12 % + divers. Les monazites ont été utilisées en datation (couple $^{232}Th/^{208}Pb$ ou $^{238}U/^{206}Pb$).

Le xenotime est le phosphate d'yttrium : Y (PO_4) .

Nicols, nom donné pour raison historique au polariseurs des microscopes polarisants.

- **olivine**, voir [géologie](#) Annexe A-1.
 - **pechblende = Uraninite**, oxyde d'uranium, UO_2 , principal minerai d'uranium. On parle d'uraninite lorsque les cristaux sont exprimés, pechblende pour les masses cryptocristallines, mamelonnées, etc. plutôt noir à éclat submétallique à gras; peut contenir du thorium et des terres rares. s'altère en "gummite" qui couvre un ensemble de produits cryptocristallins de couleur rouge à jaune orangé.
 - **pegmatite**, roche ignée de composition (leuco)granitique ou syénitique de fin de cristallisation, le plus souvent en filons-lentilles, à proximité (au dessus ou dans) d'un massif éruptif (que fréquemment on ne verra pas à l'affleurement, se trouvant plus profond). C'est le liquide qui reste lorsqu'une bonne partie du corps magmatique générateur a en grande partie cristallisé. Il reste la fraction qui cristallise en dernier, comme le quartz, et celles pas suffisamment acceptées dans les cristaux communs comme les alcalins (K^+ surtout, Na^+) qui sont des gros ions. Ces ions dépolymérisent le liquide silicaté ce qui le rend plus fluide. Le magma au départ comporte des fluides, H_2O surtout (mais pas que) qui à haute pression et avant cristallisation est soluble (H^+ se comportant par ex. comme Na^+ reste OH^- soluble). Mais parce que une grande partie des cristaux qui se forment sont anhydres, le liquide reliquat s'enrichit fortement en fluide, et arrive un moment où dans le liquide résiduel l'eau en phase supercritique (on est au dessus du point triple de H_2O qui est $374^\circ C$, 30 MPa ; ce n'est pas un gaz ni un liquide mais un fluide intermédiaire) arrive en limite de solubilité. Cela va générer une augmentation de la pression interne, jusqu'à fracture hydraulique de l'environnement. Cela a été appelé "ébullition (primaire)" et se produit en profondeur (disons 5 km, et plus). Deux phases peuvent alors cohabiter (immiscibilité dans certaines conditions P,T), un liquide non saturé (comparativement) visqueux et une phase aqueuse beaucoup moins dense, qui peut partir ailleurs.
- Puisqu'il s'agit de la fin de solidification du corps magmatique, la température est plus basse (un intervalle autour de $600^\circ C$) que l'était ce dernier. Ainsi le feldspath potassique n'est plus l'orthose comme dans massif générateur mais le microcline de même composition, qui cristallise dans un système différent.
- On est en situation eutectique, c'est à dire que tout ce qui reste cristallise maintenant simultanément, feldspaths et quartz ce qui rend facile la formation de figures graphiques (élégantes, qui résultent d'un conflit entre la nucléation, la croissance et le transport des constituants autour des cristaux dépendant de la viscosité) résultant d'une cristallisation très rapide (sur-refroidissement), qui sont caractéristiques des pegmatites.

Les cristaux géants viennent ensuite, dans la partie interne aux figures graphiques. Leur taille peut atteindre 15 cm, quelques fois des mètres. Elle est une preuve de la présence de la phase fluide dans laquelle le taux de diffusion du matériel nécessaire pour construire les réseaux cristallins est plusieurs ordres de grandeur au dessus de celui dans le liquide magmatique visqueux non saturé. Cette phase aqueuse est ainsi surtout une "zone d'échanges". Conformément à des expérimentations, c'est ainsi que seraient nourris ces gros cristaux à partir de quelques nucléi, particulièrement pour le potassium, de préférence au sodium, notamment vers les zones "moins chaudes" le gradient de température semblant avoir un rôle.

La silice en excès que l'on trouve en intercroissance graphique, ou entre ces gros cristaux, ou en masse seule centrale (c'est un constat que le centre des pegmatites n'est souvent constitué que de quartz), semble résulter de ce même transfert par la phase aqueuse (là aussi avec effet du gradient de température).

Ce liquide magmatique résiduel est aussi enrichi en "éléments incompatibles", ceux que les cristaux communs du massif n'ont pas voulus, en général des gros ion, et dit hygromagmatophiles (incluant niobium, tantale, vanadium, uranium... ; de hygro = humide en grec). C'est la raison pour laquelle on trouve ces minéraux, tourmaline, béryl, minéraux d'éléments métalliques dans les pegmatites. La phase aqueuse a un pouvoir corrosif fort (acid avec H⁺), et peut convertir un minéral en un autre (par ex. remplacer un feldspath alcalin par de la muscovite)

Et en contraste à ces parties centrales on trouve dans les pegmatites un matériel de texture aplitique lui plus riche en sodium, celui qui a perdu son eau, notamment sur les bordures des zone basses.

- **perthites**, figure d'exsolution, sortes de marbrures, des feldspaths sodico-potassique. A haute température se forme un cristal qui accepte indifféramment potassium et sodium. Il n'est plus stable lorsque la température descend. Se séparent alors "sur place" les phases cristallines microcline pour le potassium et albite pour le sodium donnant ces figures.
- **placer**, gisements en milieu détritique dans lesquels la concentration s'est réalisée sous l'effet dominant de la gravité (les espèces économiques étant de densité plus élevée, chimiquement stables et mécaniquement résistantes). Ils sont exploitables, non du fait de la teneur élevée mais des très faibles coûts d'exploitation la roche étant meuble. La roche mère doit avoir été complètement altérée pour que cristaux aient pu être libérés, ils vont donc avec les climats agressifs. Le transport, court, se fait par l'eau, rivière par ex. L'or par ex. étant très lourd (densité 19,3), se déplace par saltation, il est piégé rapidement près de la source dès les premiers ralentissements de la vitesse du courant (le mot placer est apparu lors du gold rush californien de 1848 ; on suppose qu'il vient du catalan ou espagnol pour haut fond, banc de sable).
- **pneumatolytique**, on appelait *pneumatolytes* des constituants volatils tels que la vapeur d'eau, le fluor, le bore, le phosphore, le chlore, etc., qui jouent un rôle particulièrement important dans les phases finales ou posthumes de la cristallisation des magmas granitiques. Ils peuvent agir directement sur le granite qu'ils transforment en greisen, en détruisant les feldspaths et en les remplaçant par divers minéraux : quartz, micas blancs souvent lithinifères et fluorés, tourmaline, topaze, apatite... Il peut y avoir également formation de greisen au dépens des roches encaissantes qui se chargent alors de micas et de quartz. Dans les gisements dit pneumatolitiques on trouve aussi béryl, columbite, fluorine... C'est à la fois un terme .. qui s'adresse à la transition entre la phase pegmatititique et celle hydrothermale de haute température. N'est plus utilisé.
- **pyroxènes**, voir [géologie](#) Annexe A-1.
- **samarskite**, oxyde d'yttrium et Niobium : $Y_4[(Nb, Ta)_2O_7]_3$, cristaux tabulaire en masses, noir brillant, dans des pegmatites avec la columbite. Un petit peu d'yttrium peut être remplacé par de l'uranium (alors légèrement radioactif)
- **scapolite** (ou wernerite), tectosilicate riche en alcalin-alcalino-terreux (un peu de type feldspaths) et éléments issus de fluides d'une composition comprise entre deux pôles, calcique, méionite : $Ca_8[(Cl_2, SO_4, CO_3)(Al_2Si_2O_8)_6]$ et sodique, marialite : $Na_8[(Cl_2, SO_4, CO_3)(AlSi_3O_8)_6]$. Pour 50 à 30 % de Ca on parle de mizzonite, et pour 50 à 20 % de Ca de Dipyre. Cristaux transparents à clairs colorés (différentes couleurs). Le pôle méionite est typique des skarns. On trouve aussi des scapolites dans certains métamorphismes régionaux.

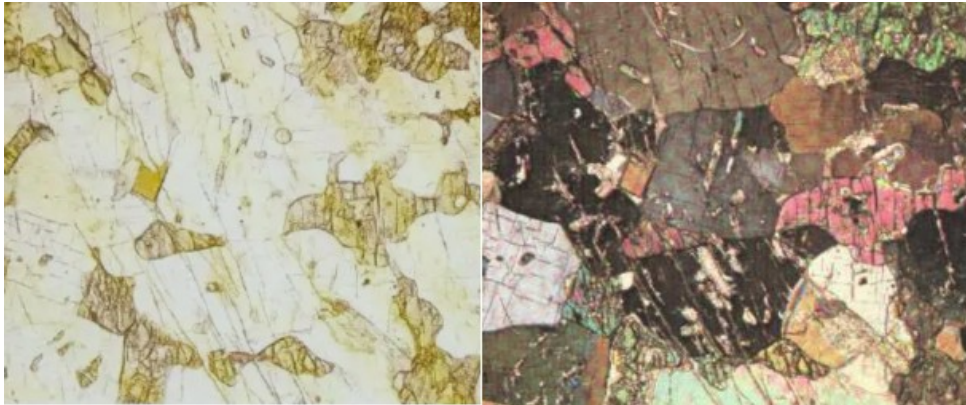


Fig. A-III-2. Scapolite/wernerite au microscope polarisant : à gauche en lumière *naturelle* : c'est toute la partie sans couleur et il y a du clinopyroxène vert pâle et un petit mica magnésien perdu au centre; à droite même disposition en lumière analysée polarisée (nicols croisés) : la scapolite a des couleurs de biréfringence variable ; pour le cristal polygonal en bas à gauche avec deux clivages elle reste basse (quelque soit la rotation de la platine du microscope) parce qu'on est proche d'être perpendiculaire à l'axe optique. « *Échantillon pris en bordure d'une pegmatite à phlogopite près de Mafilefy* » [Mafilefy est à coté de Ampanata proche de la route N13, ~ 85 km au N(-NE) de Sakamasy/Tsihombé, et ~ 40 km au Sud(-SW) de Ampandandrava sur la *Beraketa high shear Zone*, BHSZ, voir Fig. 20, dans l'Androyen], grossissement $\times 20$ (in MacKenzie et Guilford 1980, p. 82) ;

- **sidérophile**, voir lithophile
- **skarn**, zone de réaction entre une intrusion granitique et un calcaire (mot suédois signifiant matériau sans valeur, des mineurs de Persberg qui ne voulait que la magnétite). Elle est composée d'un petit nombre de silicates calciques, d'origine métasomatique : le granite fournit la phase siliceuse, le calcaire le calcium et phase carbonée. La présence de fluides, CO₂, Fluor..., facilite les échanges. La partie installée dans ce qui était la roche encaissante peut être appelée exoskarn, celle installée dans ce qui était le pluton endoskarn.
- **spinelle** sensu stricto, oxyde double aluminium-magnésium : MgAl₂O₄, (28,2 % MgO et 71,8 % AlO₃), minéral typique du métamorphisme de contact (comme skarn), clair de différentes couleurs (le *Black prince's Ruby* qui orne la couronne d'Angleterre est un spinelle, non pas un corindon). Dans les pyroxénites du Sud malgache il est vert bleuâtre à vert noirâtre (Majmundar 1962 p. 25).
On peut avoir une évolution continue vers le pôle ferrifère Fe²⁺Al₂O₄ qui est appelé hercynite.
Au sens plus large on appelle spinelles les oxydes doubles de formule AB₂O₄ de structure cubique avec A = Fe²⁺, Mg²⁺..., etc., et B = Al³⁺, Fe³⁺..., etc.
- **thorite**, silicate de thorium, Th(SiO₄) des pegmatites qui ressemble au zircon
- **topaze**, silicate d'Aluminium avec fluor ou hydroxyle, Al₂[(F, OH)₂ SiO₄], gîtes pneumatolytiques et hydrothermaux, souvent en cristaux prismatiques (peuvent être grands), couleur variable.
- **tourmaline**, borosilicate d'aluminium complexe fréquent dans les pegmatites : (Na, Ca) (Fe, Mg, Al, Li)₃ Al₆ [(OH)₄ (BO₃)₃ Si₆O₁₈], cristaux prismatique striés, la commune (à Na et Fe) est noire, mais la couleur varie avec la composition.
- uraninite, voir pechblende
- uranocircite, voir autunite
- **uranothorianite**, oxyde, un mélange isomorphe entre l'uraninite UO₂ et la thorianite ThO₂, en proportions très variables (à Madagascar entre 3 et 27 % pour l'uranium, thorium pour le reste). C'est un minéral peu commun. Il est dense (8 à 10), du système cubique, radioactif.
- **vatovy**, *Pierre métallique*, c'est le terme utilisé par les malgaches pour parler de l'uranothorianite dans l'Androy, mais aussi semble-t-il pour les autres minerais métalliques. On donnait à certains ouvriers un compteur Geiger pour distinguer le bon minerai : « *Quand il y a du vatovy, l'aiguille monte à 500 et plus* » (Hecht 2014, p. 17)
- wernerite, voir scapolite

- **Wollastonite**, inosilicate de calcium (pyroxenoïde, un "clinopyrène" dans lequel il n'y a pas, peu, de ferro-magnésien, mais qui diffère dans la structure), $\text{Ca}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$, que l'on trouve dans les skarns (calcite CaCO_3 + quartz SiO_2 = wollastonite $\text{Ca}[\text{SiO}_3]$) + CO_2 , agrégat généralement blanc (transparent en lame mince), cristaux rares.
- xenotime, voir monazite
- **zircon**, c'est un minéral accessoire dans les roches magmatiques de type granite, un néosilicate $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$, très résistant à l'altération. Ceux riches en Thorium-uranium qu'on trouve dans les pegmatites s'auto-irradient jusqu'à destruction totale du réseau cristallin laissant une forme isotropique moins dense qu'on appelle malacon (pour le zircon voir aussi [là](#) Annexe A-1.)

Bibliographie

- Adamson, M. 2020, "Nuclear reach : uranium prospection and the global ambitions of the french nuclear programme, 1945-65", in Cold war history, ISSN on line, [là](#)
- Alvarez, R. 2013, "Managing de U-233 stockpile of the United States", Science & Global Security, 21 : 53-69, <https://scienceandglobalsecurity.org/archive/sgs21alvarez.pdf>
- Andra 2012a, "Inventaire géographique - Inventaire national des matières et déchets radioactifs", 482p.
- Andra 2012b, "Catalogue descriptif des familles – Inventaire national des matières et déchets radioactifs", 306p.
- Andriambololona, R. 1980, "Étude de la monazite brute d'Antete et de Vohibarika-Manantenina à l'aide d'un détecteur Ge(Li). Spectre énergétique. Teneur en U et en Th", Annales de l'Université de Madagascar : série Sciences de la Nature et Mathématiques, volume 17: 15 - 32. http://madarevues.recherches.gov.mg/IMG/pdf/Anal-sciences17_2_.pdf
- ASN 2009, "Bilan sur la gestion des déchets contenant de la radioactivité naturelle renforcée", Rapport, 20 juillet: 55p. (l'ASN l'a apparemment retiré de la toile)
- ASN 2017, "Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs 2016-2018", fév. 280p.
- Besairie, H. 1961, "Rapport annuel du service géologique pour 1960", République malgache, extrait, [là](#).
- Barillot, B. 1999, "Audit atomique – Le coût de l'arsenal nucléaire français 1945-2010", Centre de la Documentation et de recherche sur la Paix et les Conflits, <http://obsarm.org/>, Lyon, 374p.
- Barillot, B. 2001, "Uranium appauvri - Un dossier explosif", Ed. Golias, Observatoire des armes nucléaires, mai, 124p.
- Barillot, B. 2005, "Le complexe nucléaire - Des liens entre l'atome civil et l'atome militaire", Observatoire des armements et Réseau Sortir du nucléaire édits.: 139p.
- Barillot, B. - Davis, M 1994, "Les déchets nucléaires militaires français", C.D.R.P.C., 187, Montée de Choulans, Lyon, 383p. (www.obsarm.org)
- Belbéoch, R. 1995, "Le CEA : sa raison d'être, la bombe, son alibi, la recherche", La Gazette Nucléaire n°147/148: 3-4, https://gazettenucleaire.org/?url=/1995/143_144.html ou [ici](#) ou [là](#)
- Besairie, H. (sous la dir. de) 1961, "Rapport Annuel du Service géologique pour 1960", République malgache.
- Besson, J. 1976, "La chimie minérale", Qsj, Puf, 128p.
- Blaizeau, T. 2012, "Histoire du Bouchet - Poudres, explosifs, nucléaire, propulsion : histoire d'un site industriel et de recherches 1914-1971", mémoire Master 2, Univ. Evry, 236p., https://www.biblio.univ-evry.fr/memoires/2012/2012_MM2_Histoire_Blaizeau.pdf
- Blancard, J. 2009, "La politique de l'énergie – Souvenirs du XX^e siècle racontée à mes petits-enfants", (revue) Commentaire SA, n° 126 : 395-406, [là](#).
- Blay, M. 2011, "Quand la Recherche était une République – La recherche scientifique à la libération", Armand Colin/Comité pour l'histoire du CNRS, [là](#).
- Bourret, W. 1988, "Uranium-bearing pegmatites of the Antsirabe-Kitsamby district, Madagascar", Ore Geology Reviews, 3: 177-191.
- Canavesio, R. 2011, "Exploitation informelle des pierres précieuses et développement dans les nouveaux pays producteurs – Le cas des fronts pionniers d'Ilakaka à Madagascar", thèse géographie, Bordeaux III, 502p, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00636786/document>
- Caro, P. - Christmann, P. 2012, "L'importance stratégique des Terres Rares", Conférence, Forum du futur, [là](#).
- CCIC 2006, "Morondava Uranium Project, madagascar – Competent Person' Report", 41p.
- Chevassus-au-Louis, N. 2004, "Savants sous l'occupation – Enquête sur la vie scientifique française entre 1940 et 1944", Seuil édit., 240 p, https://www.google.fr/books/edition/Savants_sous_l_Occupation_Enquete_sur_l/4gAICwAAQBAJ?hl=fr&gbpv=1&dq=SEDARS,+1944,+Joliot&pg=PT89&printsec=frontcover
- Collombat, B. - Servenay, D. (sous la dir. de) 2014(2009), "Histoire secrète du patronat de 1945 à nos jours", La Découverte, Arte Editions, 1099p. http://www.editionsladecouverte.fr/catalogue/index-Histoire_secrete_du_patronat_de_1945_a_nos_jours-9782707185112.html
- Cotillon, J. 2002, "Un homme d'influence à Vichy : Henry du Moulin de Labarthète", Revue Historique, n° 622 : 335-85, <https://www.cairn.info/revue-historique-2002-2-page-353.htm>
- Crié, H. - Rivasi, M. 1998, "Ce nucléaire qu'on nous cache", Albin-Michel 318p.

- Davis, M. 2001, "La France nucléaire, matières et sites - 2002", WISE-Paris édit. 336p.
- Dorikens, M.F. 1998, "100 years of radium – The complex history of an element", Sartonia (history of sciences), t. 11, Academia Press, Ghent, Belgium : 196-248, <https://www.sartonchair.ugent.be/file/201> ou [là](#)
- Euratom 1958, "Rapport sur la situation des industries nucléaires dans la communauté", Bruxelles, Communauté Européenne de l'Énergie atomique, 30 juin, 170p.
- Faillès, B. 2001, "Pierre Mendès France et la construction de l'arme atomique - Une responsabilité collective, un défi personnel", Matériaux pour l'histoire de notre temps n° 63-64, juillet-décembre: 136-47. http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/mat_0769-3206_2001_num_63_1_403295
- Favier, O. 2011, "Madagascar, 1947 : Les morts sans nombre d'une insurrection – Entretien avec J.L. Raharimanana", site internet *Dormira jamais*, <http://dormirajamais.org/madagascar/>
- Foasso, C. 2007, "La R&D nucléaire en France de 1945 à 1965 : le Département des études de piles du CEA", Ann. Historiques de l'électricité, n°5 : 63-74, <https://www.cairn.info/revue-Annales-Historiques-de-l-Electricite-2007-1-page-63.htm#no209>
- Ginier, J. 1965, "L'énergie nucléaire en France", L'information géographique, volume 29, n°1, 1965. pp. 9-20, https://www.persee.fr/doc/AsPDF/ingeo_0020-0093_1965_num_29_1_5691.pdf
- Giuliani, G. - Rakotondrazafy, M. - Ohnenstetter, D. - Carller, G. - Lorand, J-P. 2010, "Géologie et minéralogie", "Parcours de Recherche à Madagascar", IRD, Institut pour la Recherche et le Développement, Marseille, chap. 11 : 297-319. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers12-09/010051651.pdf
- Goudsmit, S.A. - Wardenburg, F.A.C 1944, "Thorium products taken to Auer Gesellschaft, Germany", 17 Oct., Army Intelligence Division Report 3472 (apparemment basé sur in interrogatoire de Paul Grégory)
- Hecht, G. 2012, "Being Nuclear – Africans and the Global Uranium Trade", The MIT Press, 451p, <https://gabriellehecht.files.wordpress.com/2020/02/bn-ch1.pdf>
- Hecht, G. 2014, "L'Afrique et le monde nucléaire : maladies industrielles et réseaux transnationaux dans l'uranium africain », traduit par D. Siberbauer , in Rainhorn, J. (dir.) "Santé et travail à la mine : XIX^e- XX^e siècle", Presses universitaires du Septentrion : 173-206, et Openedition : <https://books.openedition.org/septentrion/1818>, les chiffres que l'on mentionne dans le texte sont ceux données aux paragraphes de cette version numérique.
- Hirsch, R. 1988, « *Ainsi va la vie* » 1988, Fondation Jean Monnet, Lausanne, 258p, [là](#).
- Hogarth, D.D. 2010, "Madame Curie, Baron de Rothschild, Professor Lacroix and the madagascar Experiment", Earth Sciences History, Vol. 29, n°2 : 331-45.
- Huet, H. 1961, "Le Centre du Bouchet", Impr. Herissey, Evreux, 15p., http://www.dissident-media.org/infonucleaire/centre_du_bouchet.pdf
- IAEA 1962, "A Survey of Atomic Prospects in Ten Countries", International atomic energy agency bulletin, october, vol. 4-4 : 20-28, [là](#).
- IAEA 1965, "Peaceful Uses of Atomic Energy", Proceedings, vol. 12.
- Jacob, G. 1996, "La France et Madagascar de 1880 à 1894 – Aux origines de la conquête coloniale", Rech en Antropologie et en Histoire de l'Afrique (RAHIA), col. Clio en Afrique", Hors série, t. 1: 142p; t. 2: 97p; t3: 187p; t.4: 195p. (thèse d'histoire de Paris IV), <https://www.cemaf.cnrs.fr/IMG/pdf/Guy-JACOB-France-Madagascar.pdf>
- Jacob, G. - Koerner, F. 1972, "Economie de traite et bluff colonial : la compagnie occidentale de Madagascar", Revue historique n°504, <http://www.entreprises-coloniales.fr/madagascar-et-djibouti/Jacob+Koerner-Bluff.pdf>
- Jardin, A. 2010, "Des gens très bien", Grasset, 300p.
- Jennings, E. 2020, "Les bateaux de l'espoir – Vichy, les réfugiés et la filière martiniquaise", CNRS édit., 326p.
- Joignerez, A. 2012, "Pétrole ou biodiversité ? Géostratégie de la France dans le canal du Mozambique", Tsimok'i Gasikara, 21 août, [là](#).
- Jolly, A. 2004, "Lords and Lemurs - Mad Scientists, Kings with Spears, and the Survival of Diversity in Madagascar", Houghton Mifflin Company, 310p.
- Jurgensen, C. - Mongin, D. 2018, "Résistance et Dissuasion : Des origines du programme nucléaire français à nos jours", Odile Jacob édit. (avec le soutien du CEA), 396p, [là](#).
- Kamen-Kaye, M. 1983, "Mozambique-Madagascar Geosyncline, II : Petroleum Geology", Jl. Petroleum Geology, 5,3 : 287-308.
- Kropfinger, G. 1997, "Henri Longchambon (1896-1969)", Mémoire de maîtrise, Paris VI, 115p, http://www.histcnrs.fr/publications_electroniques/longchambon.pdf
- Lacroix, M. A. 1925, "Le gisement de la thorianite à Madagascar », Bull. Minéralogie, 48-2-5 : 236-7, [là](#).

- Lacroix-Riz, A. 2004, "Les comités d'organisation et l'Allemagne : tentative d'évaluation", Communication au colloque « Des comités d'organisation, pour quoi faire ? L'organisation de l'économie dirigée sous Vichy », Caen, 3-4 avril, 15p. http://historiographie.info/Actes_CO_et_Allemagne.pdf
- Lacroix-Riz, A. 2006, "Fascisme financier hier et aujourd'hui – Le choix de la défaite", Nouvelle Solidarité – 28 juillet, Interview avec Annie Lacroix-Riz, p. 7-10, <https://solidariteetprogres.fr/special/Ent-Lacroix-Riz.pdf>
- Lacroix-Riz, A. 2008, "De Munich à Vichy", Armand Colin, Epub
- Lacroix-Riz, A. 2010 (2006), "Le choix de la défaite – Les élites françaises dans les années 1930", Armand Colin, 2^e édition, 679p.
- Lacroix-Riz, A. 2013(1999), "Industriels et banquiers français sous l'occupation ", Armand-collin, 816p.
- Lacroix-Riz, A. 2016, "Les élites françaises entre 1940 et 1944 – De la collaboration avec l'Allemagne à l'alliance américaine", Armand Colin edt., 496p.
- Lafond, L.R. 1958, "Étude des sables de Toalagnaro/Fort Dauphin par la mesure des radio-activités naturelles", *Eclogae Geol. Hev.*, 51 (3): 533-542 <http://retro.seals.ch/digbib/view?pid=egh-001:1958:51::602>
- Lenoble, A. - Gangloff, A. 1958, "État actuel des recherches d'uranium et de thorium dans l'union française", Rapport CEA n°1031, CNE Saclay, 19p. <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/Public/35/044/35044142.pdf>
- Lenoir, Y. 2016, "La comédie atomique", édit. La Découverte, 317p.
- Lorand, J. 2010, "Alfred Lacroix (1893-1936), professeur au Museum National d'Histoire Naturelle", Département histoire des sciences de la terre/histoire de la chaire de minéralogie/biographie. <http://hdt.mnhn.fr/histoire/index/historique/lacroixbio.htm#top>
- Los Alamos 1995, "The Safeguard Options Study", LA-12918-MS, UC-700, April, 168p., <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/26/060/26060754.pdf?r=1&r=1>
- MacKenzie, W.S. - Guilford, C. 1980 "Atlas of rock-forming minerals in thin section", Pearson Education Ld, 104p.
- Majmundar, M.H. 1962, "Contribution à l'étude minéralogique et géochimique des pyroxènes et des micas dans les pyroxénites à phlogopite et dans les charnockites du Sud-Est de Madagascar ", Thèse, Nancy, pub. Service Géologique, Tananarive, Ministère Economie malgache, 130 p., http://biblio.univ-antananarivo.mg/pdfs/majumundarHasmukhrai_SN_DOC_61.pdf
- Malagasy Republic 1968, "A note on new metals and minerals in Madagascar", United Nation Economic and social council, Economic Commission for Africa, Seminar on new metals and minerals, Addis Ababa 5-10 February, E/CN.14/MIN/15, 13p.
- Margairaz, M. 1991, "Vichy et les contraintes, contrôles et « contrats » allemands (1940-1942)", in Margairaz, M. "L'État, les finances et l'économie. Histoire d'une conversion 1932-1952", vol. 1, chap. XVIII : 591-629, <https://books.openedition.org/igpde/2313>.
- Mauboussin, C. 1996, "Le rôle de Jean-Marie Louvel, président de la commission de l'équipement national lors de la nationalisation de l'électricité de 1945 à 1949", *Bull. d'histoire de l'électricité*, n°28, décembre : 121-48, https://www.persee.fr/doc/helec_0758-7171_1996_num_28_1_1341
- Meybeck, J. - Wahl, H. 1993, "Léon Denivelle (1905-1992)", *L'actualité Chimique*, janv/fév.: 19-22, [là](#).
- Michel, J.M. 2012, "Contribution à l'histoire industrielle des polymères en France – Pechiney (Alais, Froges et Camargue)", Société Chimique de France, 16p.
- Moine, B. - Ramambazafy, A. - Rakotondrazafy, M. - Ravolomianinarivo, B. - Cuney, M. - (de) Parseval, P. 1998, "The rôle of fluor-rich fluids in the formation of the thorianite an sapphire deposits form SE Madagascar », 8th annual V.M. Goldschmidt Conference, Toulouse; 30th August to 3rd September, extended abstracts : 999-1000, https://truff.info/doclib/MinMag/Volume_62A/62A-2-999.pdf
- Mongin, D. 1997, "La bombe atomique françaises, 1945-1958", LGDJ/bruylant, Paris/Bruxelles, 487p.
- Morteani, G. - Kostitsyn, Y.A. - Gilg, H.A. - Preinfalk, C. - Razakamanana, T. 2013, "Geochemistry of phlogopite, diopside, calcite, anhydrite and apatite pegmatites and syenites of southern Madagascar : evidence for crustal silicocarbonatitic (CSC) melt formation in a Panafrican collisional tectonic setting", *Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch)*, 102 : 627-645, [là](#).
- Murdoch, T.G. 1963, "The Mineral Industry of the Malagasy Republic", Bureau of Mines/Minerals yearbook area Report: international, year 1963, Volume IV: 983-92. <http://images.library.wisc.edu/EcoNatRes/EFacs2/MineralsYearBk/MinYB1963v4/reference/econatres.minyb1963v4.murdock12.pdf>
- Ndong, R.E. 2012, "La recherche de l'uranium en Afrique française et la naissance de la Compagnie des mines d'uranium de Franceville (COMUF), 1946-1958", *Outre-mers*, t. 99, n° 374-375 : 275-97, https://www.persee.fr/doc/outre_1631-0438_2012_num_99_374_4933

- Noizet, G. 1963, "Dispositions structurales de quelques gisements de phlogopite à Madagascar", Comptes Rendus de la Semaine Géologique de Madagascar, Imprimerie Nationale, Tananarive: 129-31, http://madadoc.irenala.edu.mg/documents/v03508_DIS.pdf
- ONU 1965, "Peaceful uses of atomic energy", Proceedings of the third international conference held in Geneva 31 August - 9 September 1964, vol. 12, Raw materials.
- Orcel, J. 1950, "Alfred Lacroix (1863-1948)", Bull. Soc. Fr. Minéralogie et de Cristallographie, vol. 73 (7-9): 347-408.
- Overstreet, W.C. 1967, "The Geological Occurrence Of Monazite", Geological Survey Professional paper 530, 327p. <http://pubs.usgs.gov/pp/0530/report.pdf>
- Paquette, J.L. - Nédélec, A. - Moine, B. - Rakotondrazafy, M. 1994, "U-Pb, Single Zircon Pb-Evaporation, and Sm-Nd Isotopic Study of a Granulite Domain in SE Madagascar", The Journal of Geology, vol. 102: 523-38, <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/629696>
- Pasquet, J.F. 1990, "Le Mica ", BRGM R 30 370, 35p.
- Paucard, A. 1992, "La mine et les mineurs de l'uranium français : les temps légendaires (1946-1950)", Ed. Thierry Parquet, Brive, 102p.
- Paxton, R.O. 1997, "La France de Vichy 1940 - 1944", Édité. du Seuil, 475p.
- Pezzotta, F. 2001, "Short note on alkaline skarns and urano-thorianite mineralisation in southern Madagascar", in Pezzotta, F. and Simmons, W.B. (edit.), "Field Course on the Rare Element Pegmatites of Madagascar - Technical Program and Field Trip Guidebook", Antananarivo, Madagascar, June 11-22, 20p. http://www.minsocam.org/msa/special/pig/PIG_articles/Madagascar_txt.pdf
- Pili, E. 1997, "Distribution et transfert des fluides à l'échelle de la lithosphère continentale – Investigations géochimique et géophysique des granulites de Madagascar", thèse Univ. Cl. Bernard, Lyon-I, 252p., <https://core.ac.uk/download/pdf/231948213.pdf>
- Pillai, P.M.B. 2007, "Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in the Extraction and Processing of Rare Earths ", IAEA, "Naturally occurring radioactive materials (NORM V), Proceedings of an international symposium, Seville, Spain, 19-22 March: 197-221 http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1326_web.pdf
- Pinault, M. 1997, "Naissance d'un dessein : Frédéric Joliot et le nucléaire français (août 1944-septembre 1945)", Revue d'histoire des sciences, t. 50, n° 1-2 : 3-48, https://www.persee.fr/doc/rhs_0151-4105_1997_num_50_1_1273
- Pinault, M. 2000, "Frédéric Joliot-Curie", édit. Odile Jacob, 721p., [là](#)
- Pinson, B. 1924, "Les ressources minérales de madagascar", Jl. de la Soc. de Statistiques de Paris, 65: 118-127 http://archive.numdam.org/ARCHIVE/JSFS/JSFS_1924_65_/JSFS_1924_65_118_0/JSFS_1924_65_118_0.pdf
- Pradel, J. - Billard, F. - Granier, A. 1968, "Stockage de déchets radioactifs sur le site de Bauzot", Proc. 1st Intern. Congres on radiation protection, p. 713, [là](#)
- Premoli, C. 1979, "Metallogeny of radioactive raw materials of Madagascar", in "Uranium Deposits in Africa : Geology and Exploration", Proceedings of a Regional Advisory Group Meeting, Lusaka, 14-18 november 1977, AIEA : 41-65.
- Radelli, L. 1975, "Geology and Oil of Sakamena Basin, Malagasy (Madagascar)", The Amer. Asso. Petrol. Geologists Bulletin, vol. 59, n°1: 97-114.
- Randriamananjara, L.H., 2014, "Uranium Deposits of Madagascar", Proceedings of the International Symposium on Uranium Raw Material, URAM, for de nuclear cycle: exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and environmental issues: 550-6.
- Rasoamampianina, V. 2006, "Les informations sur les ressources minières de Madagascar d'après les documents du fonds Grandidier", Taloha, n° 16-17, mis en ligne 3 septembre. <http://www.taloha.info/document.php?id=319>
- Razafimahatratra, D. - Montel, J.M. - Andrianaivo, L. - Andriamamonjy, A. 2018, "Caractérisation pétrographique et minéralisations associées du massif de Manangotry – Chaines Anosyennes, dans l'extrême Sud-Est de Madagascar", MADA-HARY, ISSN 2410-0315, vol. 7: 59-76, http://madarevues.recherches.gov.mg/IMG/pdf/hary7_6_.pdf
- Razakamanana, T. - Windley, B.F. - Ackermann, D. 2010, "Petrology, chemistry and phase relations of borosilicate phases in phlogopite diopsidites and granitic pegmatites from the Tranomaro belt, SE Madagascar ; boron-fluid evolution", in Kusky, T – Zhai, M.G – Xiao, W. (edits), "The Evolving Continents : Understanding Processes of Continental Growth", Geological Society, London, Special Publications, vol. 338 : 139-161.
- Robequain, C. 1947, "Le mica de Madagascar", Annales de Géographie, t. 56, n°301 : 75-6, https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1947_num_56_301_12479

- Roberts, G. - Christoffersen, T. - Weining, H. 2013, "Morondava Basin, Offshore Madagascar – New Long Offset Seismic Data Highlights the Petroleum Prospectivity of this Emerging Frontier Basin", Search and Discovery Article #10493, [là](#).
- Sarkar, J. 2014, "Compatriotes de l'atome ? La coopération nucléaire franco-indienne 1950-1976", traduit de l'anglais par Rachel Bouyssou, in *Critique internationale*, n°63 : 131-149, <https://www.cairn.info/revue-critique-internationale-2014-2-page-131.htm>
- Sauteron, J. 1989, "Il y a quarante ans... Le Bouchet", Echos du groupe CEA, n° 18, hiver, reproduit in infonucléaire, [ici](#).
- Savornin, A. 1934, "Sur la présence de la phlogopite dans les pyroxénites de la région de Betroka", Bull. Fr. de la Soc. Min., vol. 57 (1-2) : 130-39, https://www.persee.fr/doc/bulmi_0366-3248_1934_num_57_1_4189
- Seydoux-Guillaume, A-M - Montel, J.M. - Wirth, R. - Moine, B. 2009, "Radiation damage in diopside and calcite crystals from uranothorianite inclusions", *Chemical Geology*, 261: 318-322.
- Slatick, E.R. 1969, "The Mineral Industry of the Malagasy Republic", Bureau of Mines/Minerals Yearbook area reports: international, year 1967, vol. IV: 495-99
<http://images.library.wisc.edu/EcoNatRes/EFacs2/MineralsYearBk/MinYB1967v4/reference/econatres.minyb1967v4.eslatick3.pdf>
- Telford, W.M. - Geldart, L.P. - Sheriff, R.E. 1990, "Applied Geophysics", 2nd edit., Cambridge University Press: 770p.
- Teissier, P. 2007, "L'émergence de la chimie du solide en France (1950-2000) - De la formation d'une communauté à sa dispersion", Thèse Paris X
- Tsiamidy, T.L. 2011, "Étude d'impact environnemental du projet d'exploitation d'ilménite et de zircon dans la commune rurale d'Anosiala, district de Manakara, région Vatovavy Fitovinany", DESS, Ecol. Sup. Polytechnique d'Antananarivo/UFR Sc. Eco. Gest. Bordeaux IV, 100p.
- Valode, P. 2011, "Les hommes de Pétaïn", Nouveau Monde édit. Epub (paru en poche 2013, 540p)
- Waltham, C. 1998(2011), "An Early History of Heavy Water", 28p., <https://arxiv.org/pdf/physics/0206076.pdf>
- Weart, S. 1978, "Interview with Dr. Jules Gueron, in New York, April 15", Oral history Transcript, Center for history of physics, transcript of tape recorded interview, <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4649-1>
- White, W.M. 2013, "Geochemistry", Wiley-Blackwell, 660p.
- White, W.M. (edit.) 2018, "Encyclopedia of Geochemistry", Springer, 1557p.
- Woodmansee, W.C 1967, "The Mineral Industry of the Malagasy Republic", Bureau of Mines/Minerals yearbook area reports: international, year 1965, Vol. IV: 841-46
<http://images.library.wisc.edu/EcoNatRes/EFacs2/MineralsYearBk/MinYB1965v4/reference/econatres.minyb1965v4.wwoodmansee5.pdf>
- Zhukovsky, M. - Ekidin, A. - Baranova, A. - Yarmoshenko, I. 2007, "Lung Types of Thoron Daughters in a Monazite Storage Facility ", IAEA, "Naturally occurring radioactive materials (NORM V), Proceedings of an international symposium, Seville, Spain, 19-22 March: 233-243.
http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1326_web.pdf