

PRÉSIDENCE DU CONSEIL
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

La prospection des minerais d'uranium
et de thorium dans les pays désertiques
et dans les régions de forêt équatoriale
de l'Union française

par

J.J. LECOQ, G. BIGOTTE, J. HINAULT et J.R. LECONTE

Rapport CEA n° **1036**

CENTRE D'ÉTUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY
SERVICE DE DOCUMENTATION
Boite postale n° 2 - Gif-sur-Yvette (S.-et-O.)

LECOQ J. J., BIGOTTE G., HINAULT J., LECONTE J. R.

Rapport CEA n° 1036

La prospection des minerais d'uranium et de thorium dans les pays désertiques et dans les régions de forêt équatoriale de l'Union Française.

Sommaire. — Depuis sa création, la D. R. E. M. poursuit un effort important de prospection dans les territoires d'outre-mer qui constituent maintenant la Communauté Française. Ces travaux qui intéressent maintenant près d'un million de km² constituent une expérience qui a peu d'équivalent dans le monde. Les recherches dans ces territoires présentent des difficultés, sur le plan général et sur le plan technique, particulièrement ardues dans les pays à climats excessifs : déserts ou forêts équatoriales denses. On décrit l'adaptation des diverses méthodes de prospection des minerais radioactifs à ces régions et les résultats qu'elles ont fournis.

Trois exemples particuliers sont donnés en détail :

- Exploration générale au Hoggar, et reconnaissance d'indices particuliers.
- Exploration générale en forêt équatoriale en Guyane française.
- Etude détaillée d'un indice uranifère et de ses environs en zone équatoriale (gisement de Mounana près de Franceville (Gabon)).

1958

90 pages

LECOQ J. J., BIGOTTE G., HINAULT J., LECONTE J. R.

Report CEA n° 1036

The prospection of uranium and thorium ores in desert country and in equatorial forest regions of the Union Française.

Summary. — Since it was founded, the D. R. E. M. has carried out important prospection work in the overseas territories which now make up the Communauté Française. This work, now involving almost a million km², represents an experiment scarcely equalled throughout the world. Research in these territories presents both general and technical difficulties, which are especially severe in countries with extreme climates : deserts or dense equatorial forests. The adaptation of various methods of radioactive ore prospection to these regions is described, and also the results obtained.

Three particular examples are given in detail :

- general exploration in the Hoggar, and reconnaissance of particular indications ;
- general exploration in the equatorial forest of French Guyana ;
- detailed study of a sign of uraniferous occurrences and its surroundings in the equatorial zone (Mounana deposit near Franceville (Gabon)).

1958

90 pages

LA PROSPECTION DES MINERAIS D'URANIUM ET DE THORIUM
DANS LES PAYS DESERTIQUES ET DANS LES REGIONS
DE FORET EQUATORIALE DE L'UNION FRANCAISE.

par

J.J. LECOQ, G. BIGOTTE, J. HINAULT, J.R. LECONTE

Commissariat à l'Energie Atomique - France

ERRATA

Page 37, 14^e ligne avant la fin,

au lieu de :) - Autres appareils électroniques

lire ; g) - Autres appareils électroniqueus

13^e ligne avant la fin

au lieu de : 1° No smissions permanentes

lire : 1° Nos missions permanentes

Page 48, 10^e ligne,

au lieu de : celui d la famille

lire : celui de la famille

Page 53, 5^e ligne,

au lieu de : on débuté en 1953

lire : ont débuté en 1953

Page 60, 21^e ligne,

au lieu de :

3 prospecteurs (2 du C.E.A., B.H.G.)

lire :

3 prospecteurs (2 du C.E.A., 1 du B.H.G.)

22^e ligne,

au lieu de :

2 Aides-techniques créoles au oratoire de géochimie

lire :

2 Aides-techniques créoles au laboratoire de géochimie

Page 69, 8^e ligne,

au lieu de : par exemple

lire : par exemple

Page 70, 5^e ligne,

au lieu de : et où la géochimie n'a a jamais

lire : et où la géochimie n'a jamais

Page 71, Référence bibliographique (5),

à la fin de la 2^e ligne, ajouter : du

au début de la 3^e ligne,

au lieu de : Beau Minier Guyanais

lire : Bureau Minier Guyanais

La prospection des minerais d'uranium et de thorium
dans les pays désertiques et dans les régions
de forêt équatoriale de l'Union française.

par J.J.LECOQ, G.BIGOTTE, J.HINAULT, J.R.LECONTE.
Commissariat à l'Energie Atomique - France.

SOMMAIRE

Introduction -

1ère PARTIE : CONDITIONS PARTICULIERES DE LA PROSPECTION DES
MINERAIS RADIOACTIFS DANS LES TERRITOIRES D'OUTRE-MER.

- I Caractères géographiques des régions prospectées :
 - A. Afrique française = 1) le désert saharien. 2) la forêt équatoriale. 3) "les savanes".
 - B. Guyane.
 - C. Madagascar.

- II Considérations préliminaires à la prospection des pays neufs :
 - A. Probabilité de découverte d'un gisement d'uranium ou de thorium.
 - B. Succession des phases de recherches.
 - C. Spécialisation de la prospection.

- III Critères géologiques pour orienter la prospection des substances radioactives :
 - A. Afrique française = 1) Nature pétrologique des terrains.
2) Age des terrains. 3) Structures. 4) Associations minérales.
5) Programmes en cours.
 - B. Guyane.

- IV Problèmes particuliers posés par la prospection des substances radioactives dans certains pays d'outre-mer :
 - A. En pays désertique.
 - B. En forêt.

2ème PARTIE: ESSAIS DES DIVERSES METHODES DE PROSPECTION ET RESULTATS

- V Photogéologie :
 - A. En Afrique.
 - B. En Guyane.
- VI. Prospection aérienne : 1) conditions actuelles. 2) adaptation aux diverses régions.
- VII. Prospection à terre : méthodes et appareillage radiométrique =
1) qualité des appareils. 2) modèles d'appareils.
- VIII. Géochimie :
 - A. En Guyane.
 - B. En A.E.F.
 - C. Au Hoggar.
- IX. Géophysique.
- X Reconnaissances par fouilles, sondages et travaux miniers
- XI. Formation de la main d'oeuvre locale :
 - A. Au Hoggar.
 - B. En A.E.F.
 - C. En Guyane.

3ème PARTIE : APPLICATIONS

- XII. Trois exemples de prospection en pays à climat extrême
 - A. Exploration générale au Hoggar et reconnaissances d'indices particuliers.
 - B. Exploration générale en forêt équatoriale en Guyane française.
 - C. Etude d'un indice uranifère et de ses environs en zone équatoriale.
- XIII. Bibliographie.

Introduction

Pour approvisionner en combustible nucléaire la nouvelle industrie atomique, le Commissariat à l'Energie Atomique a entrepris dès 1945 la prospection de la métropole et des territoires d'outre-mer. Il a confié cette tâche à une organisation spécialisée : "la Direction des Recherches et Exploitations Minières".

Nous ne parlerons pas ici de l'activité de cette direction dans la métropole bien qu'elle ait été jusqu'ici la plus fructueuse et la plus importante. (12).

Parallèlement, dès 1946, le Commissariat a lancé des missions de prospection dans les divers territoires français d'outre-mer, et depuis lors un effort technique et financier très important n'a cessé de leur être consacré. Dans certains pays, des missions opèrent

d'une façon permanente , dans d'autres, des campagnes temporaires ont été lancées pour prospecter une région déterminée, puis ont été reprises ultérieurement sur une autre fraction du pays. La découverte d'indices a entraîné dans certains cas l'exécution d'une reconnaissance détaillée, voire de sondages et de travaux miniers, qui a abouti quelquefois à la mise en évidence de véritables gisements dont l'exploitation se poursuit à l'heure actuelle. Au total, l'activité minière du Commissariat s'est exercée jusqu'ici dans les pays suivants :

Afrique française (voir carte) = Maroc, Algérie, Territoire du Sud (Hoggar), Côte d'Ivoire, Niger, Togo, Dahomey, Sénégal, Soudan, Togo, Cameroun, Moyen Congo, Gabon, Oubangui, Tchad.
Madagascar.
Guyane Française.

La somme des surfaces de tous ces pays peut être évaluée approximativement à 11 millions de km². Bien entendu, tout cet ensemble n'a pas encore été prospecté mais cet effort se poursuit d'une manière continue et s'amplifie de sorte que progressivement toutes les régions méritant d'être prospectées seront soumises aux investigations méthodiques du Commissariat.

Actuellement, on peut dire que les explorations au sol effectuées dans les territoires d'outre-mer de l'Union Française par le Commissariat ont porté sur près d'un million de km². Il faut dire que tous les travaux n'ont pas été effectués avec la même densité et n'ont pas la même qualité. Dans les années de début, alors que les méthodes, le matériel et le personnel n'avaient encore bénéficié d'aucune épreuve antérieure, on a commis des erreurs et certaines conclusions provisoires ont dû être révisées.

Depuis, un renouvellement complet a été accompli sur tous les plans et les progrès faits dans tous les sens ont accru l'efficacité des efforts et la qualité des résultats. Par exemple, la prospection aérienne met à la disposition du géologue un moyen de progresser, auprès duquel les fameuses "bottes de sept lieues" du "Petit Poucet" sont bien peu de chose. Grâce à elle, depuis trois ans, le Commissariat a pu déjà déployer ses explorations aériennes sur 170.000 km²

D'une manière générale, ces travaux constituent une expérience d'une envergure qui a peu d'équivalent dans le monde. Ils ont été une occasion exceptionnelle de mettre au point des techniques et du matériel pour la prospection des substances radioactives en les adaptant aux conditions extrêmement diverses qu'on rencontre dans cet éventail très large de pays.

Cette expérience est décrite ici par un groupe d'ingénieurs dont chacun a eu une responsabilité dans l'exécution d'une ou plusieurs des missions qui ont été énumérées plus haut. L'exposé est plus particulièrement orienté vers les cas extrêmes que présentent ces territoires d'outre-mer : celui des déserts et celui des régions de forêt équatoriale. On examinera d'abord les caractères spéciaux de la prospection de ces régions : géographie, géologie, évaluation des chances de succès, difficultés particulières. Puis, les diverses méthodes

appliquées seront décrites en appréciant leurs résultats : photogéolog, prospection aérienne, radiométrie, géochimie, géophysique et formation de personnel technique autochtone. Enfin, on donnera trois exemples précis.

1ère PARTIE : CONDITIONS PARTICULIERES DE LA PROSPECTION DES MINERAIS RADIOACTIFS DANS LES TERRITOIRES D'OUTRE-MER.

I. Caractères géographiques des régions prospectées :

A. Afrique française

Il existe beaucoup de manières de diviser les paysages africains, d'après leur climat ou leur végétation. Nous n'envisagerons que le point de vue de nos travaux dont l'expérience nous a conduit à distinguer trois grandes zones, auxquelles correspondent trois types de méthodes et de conditions de travail (voir carte N°1).

- 1°) La zone désertique, qui correspond au Sahara français.
- 2°) La zone forestière équatoriale qui couvre toute la partie centrale de l'A.E.F., le sud du Cameroun et l'extrême sud de l'A.E.F.
- 3°) Une zone intermédiaire, dite des savanes.

La présente communication traite surtout des deux premières zones à caractères climatiques extrêmes ; pourtant beaucoup d'observations s'appliquent aussi à la zone intermédiaire, qui peut présenter certains caractères extrêmes, en particulier les températures.

1°) Le désert saharien.

Le Sahara est le plus grand désert de la planète. Il s'étend de la vallée du Nil à l'Atlantique, du sud de l'Atlas et des rivages de Tripolitaine aux bords du Sénégal, du Niger et du Bahr El Ghazal, sur 6.300.000 km² où ne vivent que 1.900.000 habitants. Sept pays se partagent cette étendue : la France, le Maroc, la Tunisie, l'Espagne, la Libye, l'Egypte et le Soudan. La France, quant à elle, en possède la plus grande part qui, malgré son immensité, conserve une unité certaine.

Le désert reçoit moins de 100mm d'eau par an en moyenne. Mais ce chiffre n'est pas significatif, car un lieu donné peut ne recevoir aucune pluie pendant 74 mois (Tamnasset de Juin 1933 à Août 1939). L'hygrométrie relative est souvent voisine de 20% et peut tomber à 5%.

R. Capot-Rey, dans son livre "Le Sahara Français", définit le Sahara par son paysage désertique qui, selon lui, est fait de trois éléments : l'amenuisement du tapis végétal, l'inorganisation de l'hydrographie, la tyrannie de l'eau(19) :

"Le caractère essentiel du désert est la disparition des êtres vivants. La diminution porte non seulement sur le nombre des individus, mais sur le nombre des espèces. Le Sahara Français ne possède guère que 1.200 espèces végétales". Pourtant, on ne peut pas parler de pérennité du paysage saharien. Là où il n'y avait rien, une pluie fait un pâturage éphémère, "l'acheb", selon les Arabes. Le désert de fait se caractérise moins par l'absence de végétation que par son inégale distribution et son extrême variabilité

Ces caractères proviennent de l'inorganisation de l'hydrographie. "Toute l'eau qui s'écoule à la surface du désert à des intervalles plus ou moins éloignés, écrit R.Capot-Rey, est de l'eau de pluie tombée sur place ou dans le voisinage; une quantité infime seulement provient de sources. De là une hydrographie qui contraste par son décousu avec le réseau organisé des pays humides. Les oueds sahariens se terminent avant d'arriver à la mer ; les crues les plus fortes s'arrêtent dans une zone basse, où se déposent les alluvions et où l'eau disparaît par évaporation ou infiltration"

L'aridité entraîne nécessairement une réduction extrême du peuplement. Les 9/10ème du Sahara sont totalement inhabités. Ce n'est pas qu'il soit malsain, mais l'homme y meurt littéralement de faim. La culture n'est possible qu'avec l'irrigation, et comme les ressources en eau sont limitées, rares sont les lieux qu'on peut vivifier par un arrosage suffisant. De ce fait, les surfaces cultivées sont faibles, moins de 200.000 hectares.

Ce Sahara, dont les caractères sont aisés à définir, est pourtant une région difficile à circonscrire.

Pour notre part, nous adoptons sur la carte les limites de R.Capot-Rey, basées sur un critère issu des conditions de vie offertes par le milieu à ses habitants :

- au Nord, la disparition du palmier-dattier, base de l'économie des sahariens,
- au Sud, l'apparition du cram-cram (*cenchrus biflorus*) qui marque le début de l'élevage du boeuf.

La surface du Sahara français ainsi définie est d'environ 4.300.000 km².

2°) La forêt équatoriale.

Elle est caractérisée par l'abondance et la dominance des formes arbustives et herbacées. Les cimes des arbres se touchent et dans le sous-bois le tapis herbacé est d'autant plus réduit que le feuillage est plus épais. On considère comme forêt les formations dont les essences ont plus de 10 mètres de haut. La flore y est d'une richesse extrême. Dans la seule forêt dense de la Côte d'Ivoire, Aubréville décrit plus de 590 espèces (15) ; le Professeur Chevalier estime que le

nombre des espèces ligneuses des forêts denses d'A O F doit s'inscrire entre 1 500 et 2.000 (arbres, arbustes, lianes), soit le tiers environ des 5.700 espèces qui composent la flore d'A.O.F., sans compter les herbes, fougères, mousses et cryptogames qui peuplent les futaies, sous-bois, clairières, sentiers, rives des cours d'eau et en particulier tous les espaces où pénètre une lumière plus intense.

Cette forêt dense n'a pas un caractère partout uniforme. Elle présente des aspects variés et des faciès nombreux en rapport généralement avec les conditions particulières, locales : d'habitat, de climat, de sols, bords des rivières, bas-fonds inondables, bas-fonds marécageux, montagnes, etc., ou générales : hauteur et répartition des chutes de pluie (entre 1,5 et 2 m par an), direction des vents dominants alizés, harmattan, climat, microclimats.

La forêt équatoriale couvre 730.000 km² en A.E.F. et Cameroun, et près de 300.000 km² en A.O.F.

3°) Les "savanes".

Entre le désert et la forêt, on trouve des régions de "savane", qui peuvent aussi exister en taches à l'intérieur de la forêt.

Il serait utile de préciser la valeur internationale du terme savane qui semble tirer son origine du terme espagnol "sabana", dérivé lui-même du dialecte Arouak "zavana" à l'époque où les boucaniers traquaient les boeufs dans les herbages des Antilles. Il s'est étendu de là aux plaines d'Amérique du nord pour désigner des étendues herbeuses dépourvues de végétation ligneuse.

Il correspond en Afrique à une formation couvrant des espaces immenses suivant une bande de 700 à 1.000 km de large qui englobe la Mauritanie méridionale, le Sénégal, le Soudan, le Niger, la majeure partie de la Guinée française, la haute côte d'Ivoire, le haut Ghana, le Togo, le Dahomey, la Nigéria occidentale et septentrionale. Elle s'étend de façon continue à partir de la forêt dense du Sud jusqu'aux confins du Sahara et c'est insensiblement que l'on passe de la forêt ombrophile guinéenne au désert lui-même, par une dégradation et par une évolution progressive de la végétation dans le sens xérophile. En raison de cette progressivité, il est très difficile de fixer des limites précises aux différents faciès rencontrés. Cette savane africaine est une formation remarquable par la dominance des graminées, mais cette formation n'est pas exempte de formes ligneuses, arbres ou arbustes bien souvent eux-mêmes dominants. En ce sens, elle ne répond plus à la définition initiale du mot savane car c'est une formation essentiellement forestière claire d'un type xérophile de plus en plus marqué. Et c'est d'ailleurs sur la présence de buissons, d'arbres, d'arbustes plus ou moins denses ou plus ou moins clairs que se basent

les auteurs (J Trochain) (30).

Il existe d'autres espaces, vides de végétation arborescente, résultant de la dégradation de la forêt xérophile primitive sous l'action de l'homme (cultures, défrichements, feux de brousse). Ils sont alors envahis par les graminées. Ces savanes sont homologues des formations secondaires de la forêt dense où s'établit une végétation moins hygrophile pour remplacer la forêt primitive. C'est une formation essentiellement anthropogène. La déforestation est relativement lente, mais permanente et persistante, elle affaiblit progressivement la forêt xérophile jusqu'à disparition complète. Les espaces ainsi dénudés sont immédiatement envahis par les herbes et la destruction est pratiquement irréversible, parce qu'elle entraîne sous ces climats une modification profonde du sol lui-même (dénudation, érosion, bowaliation, latéritisation), rendant la régénération impossible ou tout au moins très aléatoire et fort lente, imperceptible à notre échelle humaine.

B Guyane.(14)

La Guyane fait partie du bouclier guyano-brésilien. C'est une pénéplaine de 90.000 km² de surface, le long d'un littoral long de 350 km sur l'Océan Atlantique. Le pays est très abondamment arrosé par les vents alizés tout le long de l'année, sauf pendant deux à trois mois de saison sèche d'automne. L'humidité est toujours considérable. Les températures oscillent très peu autour d'une moyenne de 26°C.

On distingue dans la morphologie quatre parties principales :

- 1) la zone côtière,
- 2) la chaîne des collines parallèle à la côte qui traverse le pays d'Est en Ouest,
- 3) le massif central guyanais,
- 4) la pénéplaine méridionale que borde la petite chaîne des Tumuc-Humac formant frontière avec le Brésil.

La zone alluvionnaire cotière est très plate, sauf quelques collines témoins de reliefs antérieurs ; le reste du pays est extrêmement bosselé avec des pentes très raides, bien que les altitudes restent très faibles.

Un réseau hydrographique très dense couvre le pays mais, sauf dans les parties basses, les rivières sont coupées par des rapides parfois très rapprochés et dont certains comportent des sauts très importants rendant la navigation assez dangereuse.

Sauf la zone côtière qui a une largeur moyenne de 10 km, tout le pays est couvert d'une forêt pratiquement continue et très monotone malgré la variété des espèces. De temps en temps, un inselberg dresse ses parois dénudées. En dehors de

cela, les seuls affleurements rocheux qu'il est possible d'observer se trouvent au bord des rivières mais ils ne sont pas fréquents.

La forêt du type primaire est en général de pénétration relativement facile sauf certaines taches restreintes où une végétation secondaire broussailleuse et dense a pris sa place. Elle est la résidence de multiples insectes dont la piquûre n'est généralement pas dangereuse mais toujours très désagréable.

La zone côtière est une savane avec quelques bouquets d'arbres, souvent marécageuse ; est infestée de moustiques.

C. Madagascar.

La grande Ile, où depuis douze ans l'effort minier du Commissariat est très important, comporte des parties qui peuvent rentrer dans les définitions données ci-dessus.

a) une région semi-désertique située au sud et au sud-ouest, à savane épineuse. Le Commissariat y a lancé plusieurs campagnes de prospection aérienne. Les gisements d'uranothorianite actuellement en pleine exploitation se trouvent au voisinage.

b) une bande de forêt très dense qui s'étend sur plus d'un millier de kilomètres parallèlement à la côte Est et recouvre les gradins de la falaise qui sépare les hauts-plateaux de la plaine côtière. Les énormes difficultés de pénétration de cette forêt, du type "jungle" infestée d'insectes et d'anguilles, et le relief très escarpé ont fait mettre en seconde urgence la prospection de cette zone inexplorée, d'autant plus que des indices étaient déjà connus ailleurs

II. Considérations préliminaires à la prospection des pays neufs

Les caractères généraux des pays que nous avons rapidement décrits font immédiatement penser qu'une prospection des substances radioactives y rencontrera de très grosses difficultés et qu'elle entraînera de très fortes dépenses. On peut alors se demander l'intérêt que peut offrir une telle prospection entreprise dans ces conditions.

A. Probabilité de découverte d'un gisement d'uranium ou de thorium -

Des études récentes ont été effectuées en vue d'estimer d'une manière assez précise les chances de réussite qui s'offrent à la prospection minière des pays neufs (18) F. Blondel est parti d'une étude statistique de la distribution des substances minérales dans le monde. Il a pris comme critère initial la valeur de la production annuelle de chaque gisement connu et il donne les raisons qui permettent

de considérer cette valeur comme représentative de la minéralisation elle-même du gisement alors qu'elle a aussi l'avantage de correspondre à un chiffre précis et en général bien connu. Il montre aussi pourquoi ce critère comporte une validité suffisante, à l'échelle de l'étude, dans la comparaison d'un métal ou d'une substance à l'autre.

Dans une première série d'études, F. Blondel a ainsi procédé pour certaines substances minérales importantes considérées individuellement et il a fait la somme des valeurs de la minéralisation, suivant la définition donnée plus haut, par pays. Il a alors constaté un premier phénomène important, à savoir que chacune des "populations" (au sens statistique du mot) de chiffres ainsi obtenues pouvait être scindée en deux groupes bien distincts. Le premier correspondait aux pays sous-développés et était constitué de valeurs extrêmement faibles et sans aucune loi décelable de répartition. Au contraire, le second fourni par les pays ayant déjà atteint un certain stade industriel, est formé d'un éventail très large de valeurs, cependant toutes supérieures aux premières, et on y reconnaît une loi de distribution log-normale.

F. Blondel trouve de plus qu'en comparant les diverses lois de distribution log-normale données par plusieurs substances, une caractéristique de ces lois, le coefficient de dispersion, reste à peu près constant en passant de l'une à l'autre. Ceci l'amène alors à ne plus envisager que l'ensemble des minéralisations de chacun des pays (sauf les combustibles), ce qui lui donne l'occasion d'en tirer des conclusions relatives à la minéralisation en général existant dans ces pays ou dans des subdivisions de plus en plus restreintes de ceux-ci, états ou provinces, comtés ou départements, districts miniers.

Reprenant l'autre groupe de pays, il admet enfin qu'un effort de prospection suffisant chez eux y engendrerait les mêmes conséquences, c'est à dire les mêmes lois de distribution pour les minéralisations qui seraient découvertes. Sur ces bases, il aboutit à des principes directeurs dont voici les principaux :

- 1) Tout pays dont la densité de minéralisation (c'est à dire le quotient de la valeur de sa production minière par sa surface) est inférieure à \$2 par km² doit être considéré comme en-dessous de ses possibilités et la prospection de ce pays mérite d'être envisagée.
- 2) Le risque d'échec total de la prospection croît lorsque la surface prospectée décroît : pour un million de km² le risque d'échec total est pratiquement nul - pour 100.000 km² le risque est de 5%, ce qui n'est déjà pas négligeable mais encore supportable - pour 10.000 km² le risque est de 50% et devient considérable - pour des surfaces plus faibles, le risque est trop élevé pour être supporté.

- 3) La liaison entre la géologie et la densité de minéralisation d'un pays est nette, conformément à ce qu'on pouvait penser et à la notion classique de "provinces métallogéniques". Cependant, les différences introduites par la géologie n'empêchent pas que tous les pays ou toutes les zones d'un même pays ne fassent partie d'une même distribution statistique. La géologie explique pourquoi à l'intérieur de cette distribution statistique, certaines zones sont riches et d'autres pauvres, mais elle ne trouble pas pour autant la loi de probabilité d'ensemble ; c'est en ce sens que les possibilités globales d'un pays peuvent être estimées d'un point de vue probabiliste indépendamment de la géologie.
- 4) Une difficulté s'introduit dans le cas de certains pays peu développés car les substances à faible valeur unitaire ne sont guère exploitables que si elles peuvent être consommées à faible distance de leur lieu d'extraction, et par conséquent certaines zones de ces pays doivent être considérées comme de production nulle pour certaines substances.

Si nous essayons d'appliquer ces conclusions au cas particulier de la prospection de l'uranium et du thorium dans les pays particulièrement difficiles qui font l'objet de cette communication, nous ferons les remarques suivantes :

- a) une première difficulté provient du fait que F. Blondel a considéré l'ensemble des substances minérales produites par les pays, sauf les combustibles ; il faut donc voir comment ses résultats doivent être modifiés pour une prospection orientée seulement sur deux matières bien définies, l'uranium et le thorium, sur lesquels les études de F. Blondel n'avaient pas porté. On pourrait dire que sur le plan statistique, la question se présente comme un problème de probabilités composées : à la probabilité de trouver dans un pays déterminé un gisement minéral exploitable ou, suivant la terminologie de l'auteur, une certaine densité de minéralisation, il faut superposer la probabilité que cette minéralisation soit uranifère. Dans ce cas, il n'est pas sûr que la loi de distribution statistique trouvée par la population totale reste valable ; il faudrait pouvoir établir la loi particulière de distribution de la minéralisation uranifère et thorifère au sein de la population totale des substances minérales exploitées. Le peu de renseignements connus actuellement sur les productions de chaque gisement d'uranium ou de thorium dans les divers pays ne permet pas encore une telle étude. Toutefois, on peut intuitivement prévoir que les variances de la densité de minéralisation radioactive entre les divers pays sont supérieures à celle de la distribution de la minéralisation non spécifiée.
- b) Nous avons dit que F. Blondel avait admis la possibilité d'étendre les résultats probabilistes établis dans les

pays normalement développés aux pays sous-développés C postulat est assez satisfaisant à l'esprit mais il n'est pas absolument évident. Du reste, F. Blondel indique lui-même que cette généralisation peut se heurter à des difficultés quand il s'agit des pays restés à un stade très inférieur de développement comme ceux dont nous parlons. Malgré la grande valeur de l'uranium et du thorium à l'état de métal, leurs minerais couramment exploités ailleurs dans le monde n'échapperont pas à la nécessité d'être utilisés ou tout au moins concentrés sur place vu les coûts excessifs des transports dans de tels pays. Or, cette concentration elle-même dans beaucoup de cas sera ou impossible, ou extrêmement coûteuse.

Toutefois, en dépit des réserves exprimées ci-dessus, il nous paraît possible de retirer des études de F. Blondel quelques directives générales précieuses en ce qui concerne la prospection de l'uranium et du thorium dans les pays qui font l'objet de cet exposé. En premier lieu, la loi générale admise par F. Blondel nous paraît valable; elle est du reste très proche de l'intuition : à partir d'une certaine surface soumise à la prospection, les risques d'échec total deviennent très faibles. Cependant, pour tenir compte des réserves qui ont été énoncées, nous devons modifier comme suit l'énoncé de cette loi : pour prospecter l'uranium et le thorium seuls et dans des pays à conditions très difficiles, il faut probablement prospecter nettement plus d'un million de km² pour bénéficier d'une sécurité pratiquement totale de trouver au moins un gisement exploitable dans de tels pays. Pour des zones d'ordre de 100.000 km², la proportion de risque d'échec total doit être notablement plus grande que 5%. (*)

Nous avons dit aussi que d'un pays à l'autre les minéralisations uranifères et thorifères considérées isolément doivent présenter des variations plus fortes que celles de la minéralisation en général, c'est à dire qu'il faut admettre que sur une surface suffisamment vaste, toutes les possibilités d'en tirer une production uranifère ou thorifère doivent être rassemblées dans un nombre très restreint de gisements. Cette conclusion a une incidence très importante sur la prospection et sur son prix de revient car elle impose un travail beaucoup plus serré pour ne pas laisser échapper les chances favorables. Elle renforce aussi l'importance du rôle de guide que la géologie doit fournir pour entreprendre cette prospection. En effet la liaison très nette que signale F. Blondel a été constatée à partir de l'étude de l'ensemble des productions minières des Etats-Unis, pays où des gisements pauvres peuvent avoir une valeur non nulle. Dans notre cas au contraire, nous restreignons notre recherche à des minérali-

(*) Cette remarque est particulièrement importante pour la Guyane = 90.000 km².

sations uranifères et thorifères riches (*) Grâce à la géologie, nous devons sélectionner les zones préférentielles qui devront être prospectées très soigneusement au milieu de vastes zones dont les chances sont nettement moins grandes. Cette considération permet donc d'espérer une limite dans les dépenses ou tout au moins doit faciliter le choix d'un ordre de priorité dans le temps des zones à prospecter.

B Succession des phases de recherches.

A partir des principes généraux énoncés par F. Blondel, certains auteurs ont cherché à chiffrer l'espérance mathématique de gain que pouvait comporter la prospection d'un pays vaste et désertique comme le Sahara, compte tenu des dépenses qu'elle entraîne et qui sont aventurées avec un certain risque (13). En conclusion de son étude qui s'applique comme la précédente à l'ensemble des gîtes métallifères possibles, M. Allais admet qu'il y a une chance sur trois seulement pour qu'on aboutisse à la découverte de gisements exploitables mais que le gain probable reste encore suffisamment attrayant pour justifier l'aventure.

Cependant, la prudence incite à procéder par étapes successives, chacune d'entre elles n'étant engagée que si la première a été couronnée de succès, car elles entraînent des mises de fonds de plus en plus fortes. M. Allais distingue donc : la recherche des indices qui correspond à l'exploration du terrain, l'étude des indices qui correspond à la prospection superficielle des indices et à des travaux tout à fait sommaires (tranchées), l'étude des gisements par sondages et travaux miniers (puits et galeries).

La proportion des frais de chacune des étapes, en moyenne, serait comme celles des nombres : $\frac{0,15}{1000}$, $\frac{25}{1000}$; et $\frac{300}{1.000}$.

En raison de cette progression brutale, M. Allais recommande de ne passer au second stade que lorsque le premier est terminé et que l'on connaît tous les indices existants entre lesquels on pratiquera une sélection très soignée et rigoureuse, afin de ne lancer le second stade qu'à très bon escient; la même règle sera adoptée entre le second et le troisième stade.

Ces conclusions ont le mérite de la logique mais malheureusement elles se heurtent à des objections majeures, notamment lorsqu'il s'agit de prospecter l'uranium.

La première est d'ordre pratique : dans les pays d vaste surface, d'accès difficile, chaque mission de prospection qui opère dans un secteur déterminé exige des

(*) ou à des gisements de dimensions telles que les investissements nécessaires à des installations de traitement puissent être économiquement justifiés.

transports pénibles et onéreux et l'installation d'une base importante. Il sera préférable d'en profiter dès que l'exploration générale aura fourni des premiers indices pour effectuer sur ceux-ci quelques travaux préliminaires de reconnaissance afin d'être éclairé d'une manière plus nette sur leur véritable valeur. Tandis que si on attend d'avoir exploré l'ensemble du pays et d'avoir effectué la sélection que réclame l'auteur cité pour revenir sur les indices choisis, des dépenses et des délais beaucoup plus considérables seront nécessaires.

Une autre difficulté aussi grave réside précisément dans l'exécution d'un choix entre des indices en le fondant uniquement sur une exploration superficielle, et qui risque de le rendre totalement erroné. Le danger est déjà grand lorsqu'on doit fournir une appréciation sur des indices situés dans des régions bien connues où on peut déterminer d'une manière assez précise l'influence sur la valeur des indices de certains facteurs essentiels comme la géologie locale, la pétrographie et la tectonique, la morphologie, le niveau hydrostatique, le recouvrement et les altérations superficielles, etc. En effet, les exemples sont nombreux, dans des pays largement développés, de magnifiques indices superficiels de minéralisation uranifère qui se sont révélés ensuite sans véritable consistance et inversement parmi les plus beaux gisements actuellement exploités plusieurs n'affleuraient pas ou très peu seulement. Ces obstacles à l'exacte estimation de la valeur des indices uranifères deviennent majeurs dans les pays où l'on ignore presque tout des facteurs indiqués plus haut et de leur rôle.

Par conséquent, il faut savoir consentir souvent à exécuter sur les premiers indices, presque au fur et à mesure que l'exploration les découvre, des travaux qui appartiennent déjà au second stade, afin de pouvoir tirer le meilleur parti possible des résultats de cette exploration. Seul le jugement du géologue responsable de l'exploration peut décider ceux des indices qu'il peut délibérément laisser de côté et jusqu'à quel point il doit pousser ses recherches sur chacun des autres pour réunir assez d'éléments en vue de porter un premier jugement solide.

Au cours de cet exposé, des exemples montreront les moyens mis à la disposition du géologue pour asseoir ce jugement. Mais ce qui précède montre combien sont lourdes de conséquences techniques et financières les décisions qui doivent être prises au cours du développement des recherches par ceux qui en ont la responsabilité.

C Spécialisation de la prospection.

Il y a un dernier point qui mérite d'être précisé dans cet exposé des idées générales qui ont présidé à l'organisation de nos prospections dans ces pays vierges et difficiles

En discutant les idées de F. Blond 1 et les perspectives de gain que peut comporter la prospection de vastes surfaces, nous avons indiqué que le fait d'orienter uniquement la prospection sur des substances radioactives restreignait les chances de succès d'une part, et d'autre part obligeait à une prospection à maille plus serrée. On pourrait donc se demander s'il n'y aurait pas intérêt dans ce cas à ne pas spécialiser les équipes et à leur confier en même temps la prospection d toutes les substances minérales utiles.

L'expérience condamne cette méthode. D'une manière générale, il n'est pas bon que les géologues et les prospecteurs portent un intérêt égal à toutes les matières, à tous les indices car cela les conduit à disperser leurs efforts, et à distraire dans de multiples sens leur attention. Sur le terrain, on ne recherche ni de la même façon, ni dans les mêmes conditions géologiques et pétrologiques les diverses minéralisations ; les vitesses de progression sont très différentes et on risque d'aller beaucoup trop vite pour une matière alors qu'on sera trop lent pour l'autre.

Cela est corroboré par la pratique des organismes officiels de recherche minière qui, pour effectuer la prospection générale d'un pays, spécialisent leurs équipes dans la recherche d'une matière ou d'un groupe de matières étroitement associées. En ce qui concerne les substances radioactives, le Commissariat à l'Energie Atomique retire de sa large expérience que leur prospection exige des procédés et un matériel très particuliers qui sont l'apanage d'un personnel formé à leur emploi

Toutefois, si la prospection proprement dite doit être l'oeuvre de spécialistes, il peut être très utile dans les pays de condition difficile où toute action, dès son début, est délicate et coûteuse, de profiter de l'organisation générale déjà installée par un autre organisme de recherche minière, de l'acquies qu'il possède pour résoudre tous les problèmes communs à une entreprise de ce genre et de l'équipement qu'il a mis au point (transport, campement, ravitaillement, etc.) C'est cette formule qui a été adoptée lorsque le Commissariat a abordé la prospection de la Guyane française, pour laquelle le Bureau Minier Guyanais qui travaillait depuis dix ans dans ce pays a mis à sa disposition les moyens déjà éprouvés dont il disposait et qu'une association a été ainsi créée comme nous l'exposerons plus loin.

L'importance des problèmes d'infrastructure et d'organisation même en les réduisant au minimum, entraîne enfin la nécessité d'aborder ces prospections avec des conceptions et des moyens assez larges pour que ces problèmes ne les grèvent pas trop lourdement. C'est plutôt le rôle des services d'Etat que des entreprises privées, du moins pour la phase initiale d'exploration.

III. Critères géologiques pour orienter la prospection des substances radioactives.-

L'étude des critères géologiques qui doivent orienter la recherche de l'uranium est difficile ; en effet, elle suppose un choix basé sur ce qu'on connaît déjà des gisements d'uranium dans le monde ; or, l'expérience a montré que cette connaissance n'était pas achevée et que chaque année révélait des gîtes nouveaux souvent situés dans des sites géologiques encaissés dans des terrains vierges jusque là.

A. Afrique française.

Pour prospecter l'Afrique française, il faut pourtant choisir par où commencer, car il est impossible de tout étudier en un temps réduit. Mais ce choix n'est que celui d'un ordre d'exécution ; en outre, en étudiant une unité géologique définie, on examine aussi largement ses bordures. Enfin, l'immensité de la surface elle-même est une chance supplémentaire de trouver des gisements dans des sites nouveaux, puisqu'il s'agit de régions encore inconnues pour l'uranium, compte tenu des observations probabilistes.

Nous examinerons en ordre d'intérêt décroissant les caractères géologiques favorables connus, en citant les régions où ils se présentent et peuvent orienter nos recherches. Nous conclurons en montrant comment nos programmes actuels sont orientés par ces considérations, compte tenu des remarques du début.

1) Nature pétrologique des terrains.

Roches sédimentaires -

Sont considérées comme favorables les roches suivantes :

a) Conglomérats et couches schisto-gréseuses associées (y compris les épisodes carbonatés).

Nous ne pensons pas qu'il soit possible dans l'état actuel des connaissances de distinguer dans ces roches des origines continentales, fluvio-glaciaires, marines, etc... Sauf au Colorado, la littérature est généralement très discrète sur la sédimentologie des roches encaissantes des gisements stratiformes d'uranium. Et du présent point de vue nous groupons sous la rubrique (a) les roches analogues à celles du Colorado aussi bien que celles qui ressemblent à Blind-River ou au Rand. D'autres différences proviendront de leurs âges ou de leurs structures. En gros, ce sont les "dépôts de plates-formes" (groupe I) de A. Lombard (28). Les gisements du Rand ou de Mounana (Gabon) sont encaissés dans de telles roches. L'uranium pourra y être trouvé en gisements stratiformes ou en filons.

b) Schistes noirs.-

Ces roches sont définies avec assez de précision, ce

sont des schistes fins, bien stratifiés, noirs ou brunâtres, contenant des matières organiques et de la pyrite. Leur origine marine est admise, mais la relation de leur milieu de sédimentation avec la mer peut avoir été lointaine. Les gisements y seront stratiformes. Nous prendrons le gisement de Saint-Hippolyte dans le massif des Vosges comme exemple. (10bis).

- c) Couches phosphatées, quelle que soit leur origine. L'uranium est lié au phosphate. Exemple : phosphates de Lam-Lam (Thiès, Sénégal). Toutefois, l'expérience à peu près générale dans le monde permet de classer, sur le plan de l'uranium, ces minerais comme trop pauvres et d'un traitement trop délicat pour être valables dans les pays de conditions difficiles.

Roches éruptives -

- a) Séries granitiques récentes par rapport à l'orogénèse à laquelle elles sont liées.

Dans une chaîne donnée, on trouve des granites dont la mise en place s'est effectuée à divers moments de son érection. Nous considérons comme plus favorables ceux qui correspondent aux phases tardives et en particulier les faciès calco-alcalins. On y trouvera des gîtes filoniens. C'est le cas de la plupart des gisements français.

- b) Les séries calco-magnésiennes de métamorphisme profond (série des "charnockites" au sens large), où on peut trouver des minéraux réfractaires de thorium et parfois d'uranium associé. Nos gisements de Madagascar en sont le meilleur exemple.

Il convient de définir ici brièvement ces séries. Il s'agit de roches très diverses, dérivées de sédiments variés sous l'influence intense d'un métamorphisme profond ; elles appartiennent au "granulit-faciès" d'Eskola (27). On y trouve surtout :

- des gneiss quartzo-feldspathiques (leptynites) à grenats ou pyroxènes avec peu ou pas de mica (le quartz est en feuillets orientés, et les microperthites sont très fréquentes).
- des quartzites,
- des pyroxénites,
- des cipolins.

Une étude très intéressante de ces faciès en Afrique a été récemment faite par H. Radier (29).

2) Age des terrains.

L'Afrique est une "vieille plate-forme", selon l'expression de F. Blondel (17).

On peut schématiser sa structure en disant que sur un "socle

cristallin plissé" repose une "série de couvertures" horizontale ; mais cette dernière débute à des époques variables, et il faut distinguer encore entre le socle et la couverture des terrains dits "intermédiaires", plus ou moins plissés, dont l'âge va du précambrien supérieur au carbonifère.

Statistiquement, la plus grande partie des richesses minières de l'Afrique provient des séries intermédiaires ou de couverture ; le socle sensu stricto est assez pauvre.

Nous orientons donc nos prospections vers ces séries et plus particulièrement les séries précambriennes supérieures, le primaire, et à un moindre degré le continent intercalaire.

3) Structures des terrains -

Si on considère la carte structurale de l'Afrique, on voit qu'on peut distinguer dans le socle quatre grands cycles précambriens successifs. Au-dessus, on trouve des terrains primaires, avec quelques plissements calédoniens ou hercyniens, des terrains crétacés et quaternaires, pour la plupart subhorizontaux. Ces derniers terrains s'ordonnent en général en "bassins" immenses : cuvettes de Taoudeni, du Tchad, lybienne, congolaise, du Katanga, etc... Le tout est affecté de grandes dislocations, accompagnées ou non de volcanisme.

Nous nous intéressons plus spécialement :

- aux chaînes du précambrien III et IV -
- aux bordures des grandes cuvettes -
- aux zones fracturées, quels que soient les terrains qu'elles affectent. Ce dernier critère joue à toutes les échelles, comme dans toute recherche minière métallique d'ailleurs. En particulier, les régions où les fractures ont joué ultérieurement présentent un intérêt supplémentaire du fait des possibilités de reprise hydrothermale secondaire.

4) Associations minérales -

Il s'agit ici d'utiliser la notion de province métallogénique et d'examiner si des gisements déjà connus peuvent nous servir de guides.

Malheureusement, l'Afrique française n'ayant pas encore été très prospectée, il est malaisé d'y définir des provinces métallogéniques. Il n'y a guère que pour la partie française du bassin du Congo que nous pouvons utiliser les résultats déjà acquis en d'autres parties de la cuvette.

5) Programmes en cours -

Ces divers critères permettent de tracer sur la carte des surfaces où chacun d'eux se trouve satisfait. Les intersections

de ces surfaces déterminent des sortes d lieux géométriques, sur lesquels nous centrons nos prospections. Mais comme cela a été souligné dès le départ, il ne faut surtout pas se limiter à ces seules zones.

Nos programmes actuels de prospection cherchent à suivre ces idées

En Afrique, ils sont répartis en trois zones qui correspondent aux trois zones climatiques : Sahara, Savanes de l'Afrique moyenne, forêts de l'Afrique centrale.

Au Sahara, nous avons prospecté les granites récents du pharusien (Précambrien III) et leur environnement, ainsi que certaines zones de "charnockites". Actuellement, nous abordons l'étude du primaire, et un peu de continental intercalaire a été vu dans l'Aïr. Ces prospections ont intéressé les massifs du Hoggar, de l'Adrar des Iforas, de l'Aïr et du Tibesti. Elles s'étendront sur la dorsale Reguibat, en commençant par les séries d'Akjoujt et la bordure primaire du bassin de Taoudeni.

En Afrique moyenne, nous nous sommes intéressés à l'Atacorien, au Buem et au Voltaïen du Dahomey et du Togo. Maintenant, nous prospectons le Précambrien supérieur et le Primaire du Soudan ; les mêmes terrains, avec les granites intrusifs et les zones fracturées de la haute Gambie, de la Faléma et de la Guinée viendront ensuite. Puis nos prospections suivront la bordure méridionale du bassin soudanais, étudiant à la fois ses franges sédimentaires et son substratum cristallin.

En Afrique centrale, nous sommes depuis longtemps axés sur les "séries intermédiaires" de la cuvette congolaise, analogues à celles du Katanga ou de Rhodésie. Après avoir longuement étudié le système du Congo Occidental, nous avons abordé le Francevillien ; viendront ensuite les séries équivalentes d'Oubangui : séries de Nola, de M'Baïki, de Fouroumbala. Par ailleurs, d'autres groupes ont prospecté les fossés d'effondrement du Nord-Cameroun et les granites d'Oubangui Occidental ; ils poursuivent actuellement l'étude du Crétacé du Nord-Cameroun.

B Guyane française.

La Guyane française est une partie du Bouclier brésilien qui s'étend de l'embouchure de l'Amazone à celle de l'Orénoque.

En dehors d'une étroite plaine côtière quaternaire et de nombreux filons de dolérite relativement récents et cicatrisant d'anciennes fractures, la Guyane est entièrement constituée par des terrains précambriens (sauf peut-être les granites intrusifs les plus jeunes).

Selon les travaux de B. Choubert, on peut distinguer très schématiquement deux parties principales (21) :

- 1) un ancien socle partiellement granitisé :

Il comprend des schistes métamorphiques divers et des quartzites, des migmatites et des granites.

Il forme surtout de grands massifs elliptiques, profondément érodés, d'un granite dit "guyanais" (généralement orienté et souvent dépourvu de pegmatites) et qui sont entourés par une ceinture de schistes métamorphiques (greenschistes et anciennes laves basiques et plus ou moins métamorphisées) constituant la série du Paramaka. En outre, ces formations sont traversées ici et là par des intrusions basiques (diorites - gabbros).

C'est dans cette ceinture de Paramaka ayant échappé à la granitisation, et qui se divise en une bande septentrionale et une bande centrale, que sont situés presque tous les gisements d'or connus en Guyane française ainsi que plusieurs anomalies radioactives.

2) Les séries du Bonidoro et de l'Orapu et les granites caraïbes -

Au Nord et au Sud de ce socle ancien se moulent deux séries superposées de sédiments argileux et arénacés avec quelques laves intercalaires plutôt acides et situées vers la base. Elles ont été peu métamorphisées, mais ont subi à leur tour des granitisations locales au cours de deux phases tectoniques distinctes.

- a) d'abord mise en place de granites orientés respectant les structures plissées : ce sont les granites caraïbes anciens, syntectoniques, logés dans des voûtes anticlinales et développant dans les schistes encaissants des schistes métamorphiques à staurotide.
- b) puis mise en place après une deuxième phase tectonique, de granites souvent à deux micas et entourés d'une auréole métamorphique de schistes à staurotide et andalousite = ce sont les granites caraïbes jeunes qui, d'ailleurs, semblent souvent ne pas s'enraciner et ne pas s'élargir en profondeur (granites "super-crustaux").

Ces derniers granites sont entourés d'un abondant cortège de pegmatites, contenant des minéralisations uranifères très dispersées (minéraux réfractaires et, exceptionnellement autunite).

Les deux séries ainsi définies (du Bonidoro à la base et de l'Orapu au sommet) commencent souvent par des conglomérats à galets de quartz abondants, les fragments de roches de Paramaka étant assez rares. A l'Est de la Guyane, au Sud de Cayenne, le faciès banal de deux longues bandes de conglomérats est analogue à celui du conglomérat de Sierra Jacobina (Brésil) mais ces deux bandes ne sont minéralisées ni en autunite ni en minerais réfractaires d'uranium.

Trois formations paraissent plus favorables à la présence de minéralisations uranifères et sont prospectées systématiquement :

- d'abord la ceinture de schistes du Paramaka,
- ensuite les formations de base du Bonidoro et de l'Orapu,
- enfin, les granites caraïbes jeunes.

IV Problèmes particuliers posés par la prospection des substances radioactives dans certains pays d'outre-mer.

Bien que souvent les caractères excessifs rencontrés dans les pays désertiques d'une part et les pays équatoriaux d'autre part se traduisent par des difficultés analogues, et qu'on puisse dire dans une certaine mesure que "les extrêmes se touchent", il est plus logique de considérer séparément les deux cas.

A En pays désertique - (7) (9).

1) Difficultés de pénétration -

D'abord, les distances sont énormes : Alger à Tamanrasset (au centre de la région du Hoggar) plus de 2.000 km ; Alger-Gao plus de 3.000 km ; Dakar-Gao 3.000 km.

Les pistes carrossables sont très rares. Trois pistes traversent seulement le Sahara du Nord au Sud et leur viabilité est parfois très mauvaise, notamment dans les zones de dunes.

Une fois sorti de ces axes principaux, on ne trouve que quelques pistes secondaires tout à fait incertaines tant en ce qui concerne leur état que leur tracé.

Pour tout le Sahara, la densité de piste est de 2 km par 100 km² (pays européen : plus de 100 km pour 100 km²).

Si l'avion permet des transports rapides entre les points principaux où des pistes d'atterrissage ont été aménagées pour le personnel et le matériel léger, il faut consentir de longs délais et une grosse fatigue pour pénétrer dans le désert à partir de ces aérodromes : l'emploi de véhicules tout-terrain devient obligatoire, avec une usure très forte en combustible et matériel.

Le problème est encore plus délicat pour le transport du matériel lourd et les approvisionnements importants, par exemple lorsqu'on entreprend des travaux de sondage ou des travaux miniers. Dans bien des cas, il devient alors préférable de construire une piste et de faire tous les transports par avion. Mais dans certaines régions (Hoggar), la topographie s'y oppose souvent.

Signalons qu'à certaines époques, les transports à terre sont rendus impraticables par des pluies torrentielles qui provoquent immédiatement le débordement des lits normalement desséchés et remplis de sables des rivières. Ceci est particulièrement dangereux pour les zones du Sahara en bordure des savanes.

2) Difficultés d'ordre climatique -

La deuxième classe d'obstacles tient au climat même. La

chaleur est en été excessive au Sahara, plus de 50° à l'ombre, ce qui prohibe tout travail au soleil sauf protection spéciale. En fait, il est impossible d'exécuter un travail itinérant pendant six mois de l'année et c'est une des grosses servitudes de la prospection au Sahara, qui impose une planification des programmes par campagnes courtes, assez rigide.

L'absence d'eau n'est pas une difficulté directe pour le personnel lorsque celui-ci vit dans une base dotée de moyens puissants qui assurent un ravitaillement régulier à partir de points d'eau abondants. Mais c'est une lourde charge pécuniaire qui s'accroît encore lorsque des travaux exigent en même temps un apport notable d'eau (sondages, moteurs, compresseurs).

Le problème est beaucoup plus grave pour les petites équipes isolées. Celles-ci doivent calculer leurs itinéraires de manière à rester toujours à proximité suffisante d'un puits ; souvent, l'eau trouvée est de mauvaise qualité chargée en sels, et provoque des troubles physiologiques à plus ou moins rapide échéance. Pour de telles équipes, le problème de l'eau devient la préoccupation essentielle. Un être humain peut difficilement dépasser vingt-quatre heures sans boire, et tous les ans au Sahara, des gens se trouvent en difficulté ou meurent après avoir perdu leur piste, parfois tout près d'un puits qu'ils n'ont pas su trouver.

Le ravitaillement en vivres est un problème moins angoissant, car on peut supporter bien plus longtemps de ne pas manger, mais il n'en est pas moins une lourde charge car les ressources locales sont strictement nulles (sauf un peu de viande de chasse très aléatoire); autrefois, les colonnes emportaient avec elles leurs vivres, à l'état sec, pour toute la campagne ; ceci les alourdisait considérablement et les pertes de vivres par détérioration étaient très importantes. Le système a été remplacé par l'envoi régulier de vivres frais (en emballage conditionné) à partir de grands centres bien approvisionnés et par avion.

La qualité du ravitaillement est bien supérieure et les colonnes ont gagné en légèreté et en efficacité, mais elles sont beaucoup moins indépendantes et la dépense est très élevée.

3) Difficultés humaines -

La troisième classe d'obstacles est d'ordre humain. En ce qui concerne les cadres qui jusqu'ici sont tous européens, les conditions climatiques très dures (chaleur très forte dans la journée et température souvent très basse pendant les nuits d'hiver), la tension électrique très élevée de l'atmosphère particulièrement aux époques de vent de sable, l'éloignement des familles (obligatoire sauf dans quelques centres urbains convenablement dotés) ont une influence défavorable sur l'état physique et moral qui est marqué au bout de quelques mois de travail continu. On constate alors une baisse d'efficacité et d'aptitude au travail physique et intellectuel.

Il faut aussi que l'agent qui a fait ainsi un premier séjour garde la capacité et le goût d'y retourner pour un second séjour afin que l'expérience acquise lui soit profitable. C'est une condition encore plus difficile à observer et très souvent on est obligé de renouveler à chaque campagne le personnel d'encadrement, ce qui est très préjudiciable.

Du côté du personnel subalterne, qu'on peut recruter localement, les ressources sont extraordinairement pauvres. La population est extrêmement rare (voir plus haut les chiffres donnés); les nomades blancs sont très résistants aux conditions climatiques, mais n'ont aucune habitude du travail manuel; les sédentaires noirs, plus aptes aux tâches physiques, supportent mal la vie errante des équipes de prospection; pour tous, une sous-alimentation séculaire interdit tout travail long et pénible. Souvent l'absence totale d'instruction ne permet aucun emploi utile.

Nous dirons plus loin l'effort entrepris pour modifier progressivement cet état de choses mais encore actuellement il est nécessaire d'apporter la majeure partie de la main d'oeuvre nécessaire, soit d'Algérie septentrionale, soit des oasis de bordure du Sahara où l'on trouve des éléments noirs sédentaires de races originaires de l'Afrique occidentale que les tribus guerrières du Sahara, avant l'occupation française, razziaient périodiquement pour y prélever les esclaves nécessaires aux cultures de leurs oasis.

4) Difficultés d'ordre technique -

Quand on entreprend la prospection des substances radioactives au Sahara, on doit tenir compte d'un certain nombre de conditions techniques particulières dont les principales sont les suivantes :

a) Les recouvrements =

L'absence de précipitation et de végétation entraîne l'absence presque totale de sols vrais. On peut distinguer en fait de recouvrements :

- dans les lits de rivières ("oueds"), des alluvions torrentiels qui peuvent s'étaler sur de très larges surfaces -
- des dunes qui sont des sédiments éoliens qui couvrent des surfaces énormes dans certaines parties du Sahara ("ergs") mais qui sont beaucoup moins développées dans la partie centrale cristalline -
- des éluvions qu'on trouve en général sur de grandes étendues planes = les "regs".

Les deux premiers types sont allochtones et ne peuvent guère fournir d'indice en eux-mêmes. Les éluvions des regs sont constitués des éléments de la roche sous-jacente; leur profondeur varie entre 0 et 40 cm : ils ne constituent donc pas un masque gênant pour les indices, surtout lorsque ceux-ci sont associés à des filons, ou des roches plus dures, qui font saillie sur le reg.

b) Le lessivage =

Nos travaux au Sahara, en particulier les sondages d'Elbéma, ont montré que l'oxydation descendait très profondément dans le sol. Ce fait est normal et lié au climat désertique et à la profondeur du niveau hydrostatique.

Mais comme en même temps les circulations d'eau sont excessivement réduites, le lessivage est faible et le transport d'éléments extrêmement réduit. Si bien qu'on peut trouver en profondeur des minéralisations oxydées mais non lessivées.

Dans le détail, les faits sont plus compliqués et il faut examiner pour chaque cas les modalités de l'oxydation possible selon les conditions topographiques et géologiques locales.

c) Le matériel =

La forte chaleur ou l'insolation prolongée (effet photo-électrique) sont une cause de détérioration des cristaux scintillants, des scintillomètres et des transistors.

Les appareils sont rarement étanches à la pénétration du sable extrêmement fin transporté par les vents.

B. En forêt équatoriale.

1) Difficultés de pénétration -

Elles sont dues à :

a) La végétation qui, en forêt secondaire ou dense rend la marche pénible, paralyse la progression en dehors des axes tracés par les hommes (sentiers ou routes) ou des gros cours d'eau, masque la vue à distance. Cette difficulté est moindre en forêt primaire sans broussaille.

b) La rareté des voies de communication : le réseau routier est généralement faible dans la grande forêt (cas de la forêt Cameroun, Oubangui, Moyen-Congo, Gabon : 1km de route automobilisable pour 72 km² de territoire). Il est difficile à entretenir, dégradé à chaque saison des pluies, fréquemment coupé.

Le réseau des sentiers de piétons est lui aussi réduit, du fait de la faible densité de population, souvent mal tracé.

La grande ramification du réseau hydrographique a pour conséquence une densité relativement faible de cours d'eau navigables aux embarcations utilitaires (grandes pirogues, pinasses, dinghies).

En Guyane, le réseau routier ou de piste est pratiquement nul à part la route côtière qui se trouve en majorité en savane.

La pénétration doit être faite uniquement par les rivières dont le réseau est très développé, mais coupé de rapides dont le passage oblige à déposer les charges qui doivent être remontées à terre, d'où une perte de temps considérable.

Il est très difficile d'établir en forêt des terrains d'aviation, même de petite dimension. De même, les aires

a parachutage sont toujours très difficilement repérables par les avions largueurs

2) Difficultés climatiques -

Le climat, chaud et humide toute l'année, débilite les hommes et favorise l'éclosion d'un état de fatigue, de lassitude et une prédisposition aux maladies.

Les régions de forêt équatoriale accidentée comme le Mayombe (Moyen-Congo), ou certaines parties de la Guyane, sont d'un parcours épuisant.

3) Difficultés humaines -

a) La population indigène dans les régions de forêt est numériquement très faible (le Gabon ne compte que 380.000 habitants sur un territoire intégralement forestier de 280.000 km² soit une densité théorique de 1,35 habitant par km²). En réalité, cette densité théorique est pratiquement plus faible, une grosse partie de la population étant concentrée dans les villes de la côte ou les postes de l'intérieur, et surtout ayant abandonné l'intérieur de la forêt pour se concentrer sur les routes.

D'autre part, cette population est souvent dans un état sanitaire assez mauvais et fréquemment sous-alimentée.

Les conséquences en sont :

- la difficulté de se procurer de la main d'oeuvre, soit pour le portage, seule méthode de transport praticable en forêt, soit pour les chantiers;
- la difficulté très grande de ravitaillement pour les Africains et les Européens tant dans les régions désertes et désertées que dans les autres régions, à un degré moindre toutefois ;
- la disparition des villages d'étape et la disparition des sentiers dans les zones situées entre les routes.

Le problème vivrier, conditionné par le précédent est compliqué par l'inexistence d'un élevage, par la rareté du gibier et la difficulté de la chasse en forêt. Il est aggravé également par la monotonie des denrées vivrières, le manioc constituant presque partout l'aliment de base.

En Guyane, ces difficultés sont encore multipliées: pour une superficie de 90.000 km², il n'y a que 35.000 habitants dont les trois-quarts sont concentrés à Cayenne et sur la bande côtière. Le reste est un véritable désert ; la seule main d'oeuvre possible vient de l'importation. Les ressources vivrières en forêt, en dehors de la chasse, sont presque nulles.

b) Pour les Européens, le travail en forêt est physiquement pénible par suite du climat, des difficultés de progression, des difficultés de ravitaillement en vivres frais.

Moralement aussi, par suite de l'éloignement des centres de civilisation, de la solitude. On doit néanmoins noter que sur le plan pathologique, bien des choses se sont notablement améliorées, par suite des découvertes médicales et d'une

meilleure organisation matérielle. Les grands endémies ont perdu de leur gravité (paludisme, maladie du sommeil, fièvre jaune, dysenterie, etc...).

La Guyane jouit d'une situation sanitaire assez favorable, la contagion n'existent pas du fait de la population très clairsemée et les maladies microbiennes ayant été efficacement combattues par des campagnes menées par l'Institut Pasteur de Cayenne.

3) Difficultés techniques -

En plus des difficultés pratiques, d'ordre géographique, qui compliquent la tâche du travailleur en forêt, qu'il soit prospecteur minier, prospecteur forestier, géomètre, etc., s'ajoutent des difficultés graves sur le plan technique de la prospection minière. (1).

a) Recouvrements et lessivage en Afrique équatoriale -

Sous forêt en climat équatorial, l'altération pédogénétique des roches conduit à des argiles latéritiques composées essentiellement de quartz, de kaolinite, d'hydroxydes de fer et d'alumine ; au contraire, toutes les bases alcalines et aluminosilicatées et la silice autre que celle de la kaolinite et du quartz cristallisé sont lessivées. Ces phénomènes ont une ampleur extraordinaire et forment des sols dont l'épaisseur peut dépasser 50 m.

Ces derniers recouvrent toutes les surfaces et masquent tous les affleurements, rendant difficile la prospection directe. Pour l'uranium, un mètre de recouvrement stérile arrête les rayonnements de n'importe quel gisement.

Pourtant, toutes les fois où les argiles rouges équatoriales dérivant bien de la roche sous-jacente, on peut se demander ce que deviendrait, dans les processus de formation du sol, l'uranium que pourrait contenir cette roche. Jusqu'ici, cette question n'a pas été étudiée de façon systématique, mais un programme de recherche est en préparation pour être confié à un laboratoire spécialisé.

Sur le gisement de Mounana au Gabon, on constate que l'anomalie radiométrique de surface est due à une faible teneur en uranium (quelque dix millièmes) de l'argile ocre de recouvrement, et non pas au gisement lui-même. Cette teneur est à peu près uniforme dans l'horizon illuvial du sol, ce qui suggère qu'elle est déterminée par la capacité de fixation de l'uranium par les minéraux de cet horizon ; on comprend qu'elle soit faible, puisque ce sont essentiellement de la kaolinite à faible pouvoir d'échange et des hydroxydes de fer peu abondants, probablement les principaux agents de fixation.

Dans ces sols "vivants" il y aurait donc deux sortes de phénomènes qui détermineraient le sort de l'uranium :

- lessivage intense qui entraînerait la plus grande partie,
- fixation d'une faible partie, dépendant de l'équilibre dynamique physico-chimique du sol

En Guyane, les phénomènes décrits ci-dessus pour l'Afrique

équatoriale se retrouvent ; nous décrivons plus loin les anomalies importantes et étendues qui ont été découvertes et qui ont pour cause la fixation tout à fait superficielle, par le sol végétal, d'uranium et de radium apportés par des sources. Les roches qui ont été ainsi lessivées sont profondes, car celles qui entourent le griffon sont à des teneurs extrêmement faibles en uranium jusqu'à une profondeur de plusieurs dizaines de mètres.

b) Matériel -

Une autre difficulté très importante rencontrée par la prospection radiométrique est la détérioration des appareils par l'humidité et la pluie. Nos premiers travaux ont été souvent paralysés par la défaillance des appareils et ce n'est que depuis peu de temps que nous disposons d'un matériel tout à fait satisfaisant.

2ème partie: ESSAIS DES DIVERSES METHODES DE PROSPECTION ET RESULTATS.

Avant d'exposer ces essais, nous donnons une chronologie abrégée du développement de nos travaux et de nos tentatives successives .

- 1946-1947 = Afrique centrale et Madagascar - Prospection par méthodes classiques (marteau - pan). Pénurie de compteurs.
- 1948-1953 = Afrique centrale - Madagascar - Côte d'Ivoire.
Parallèlement aux méthodes classiques, développement de la prospection radiométrique. Mise au point de divers modèles de compteurs et gammaphones. Sondages et travaux miniers.
- 1954-1955 = Essais de prospection aérienne au Maroc et à Madagascar
Apparition des premiers scintillomètres. Début de la prospection au sol au Hoggar.
- 1956- Développement des scintillomètres et des compteurs à transistors. Début de la prospection aérienne systématique au Hoggar et développement à Madagascar. Photogéologie au Hoggar. Début de la prospection de la Guyane avec géochimie des eaux et des sols.
- 1957- Perfectionnement de la méthode géochimique en Guyane. Début de la géochimie et de la géophysique en Afrique Centrale. Développement de la prospection aérienne par avion. Madagascar, Hoggar, Sénégal, Gabon et par hélicoptère (Hoggar).

Il est bon de souligner qu'avant d'être appliquées outre mer, presque toutes les techniques furent essayées en France métropolitaine.

V Photogéologie -

A Photogéologie en Afrique -

La reconnaissance géologique de l'Afrique française est peu avancée ; actuellement, les cartes au 1/500.000° publiées couvrent à peine le tiers de la surface totale ; il n'existe que

quelques coupures au 1/200.000° ou au 1/50 000 .

C'est dire l'intérêt des techniques photogéologiques pour nos prospections. Nous les avons appliquées dans toutes les zones avec une ampleur et un succès variés.

Les pétroliers réalisent une photogéologie au 1/50.000 . Pour obtenir une carte suffisamment précise à cette échelle, ils sont obligés de compléter le travail en laboratoire sur photographies par des missions de terrain, dont le but est de déterminer les différents faciès distingués sur photo, et d'établir des coupes stratigraphiques. Cette méthode conduit à des cartes géologiques très perfectionnées, dessinées sur un fond topographique très précis, obtenu par des techniques photogrammétriques poussées. Elle répond aux besoins précis de la recherche pétrolière, mais coûte près de 1.000 Fr le km².

Pour nous, ce document est trop perfectionné et trop coûteux. Nous avons besoin d'un "plan directeur géologique", qui nous permettra de délimiter les secteurs de prospection et de l'orienter. Dès que celle-ci se précise, elle comporte une phase d'étude géologique détaillée qui aboutit à une carte au 1.50.000°. Nous avons donc élaboré avec les entrepreneurs de photogéologie une méthode aboutissant à des cartes au 1/200.000°.

Cette méthode se décompose, à quelques variantes près, en les phases suivantes :

- examen stéréographique des photographies, pour y dessiner les traits topographiques, les affleurements de couche (avec leurs pendages), les lignes tectoniques, les différents faciès.
- Assemblage non redressé d'un autre jeu des mêmes photographies et report sur cet assemblage par divers procédés des caractéristiques dessinées à la phase précédente.
- Réduction de cet assemblage au 1/200.000 et dessin de la carte photogéologique d'après lui, avec réinterprétation d'ensemble au 1/200.000.

Il n'y a ni constitution d'une mosaïque redressée et contrôlée, ni mission sur le terrain, ce qui permet un prix voisin de 100 Fr le km². L'expérience a montré que l'exactitude approchée du document suffisait largement aux besoins de nos prospections.

- 1) Photogéologie au Sahara -
180.000 km² ont été étudiés par cette technique au Hoggar, et 40.000 au Tibesti. Les résultats ont été excellents au Hoggar (voir carte n° 3) où nos travaux sur le terrain ont permis de constater l'exactitude des cartes, dont le seul défaut consistait à ne pas distinguer les uns des autres divers faciès granitiques.
- 2) Photogéologie en savane -
Sa conception est la même que précédemment.

Nous avons fait des expériences au Soudan (50 000 km²) et au Dahomey (50 000 km²) et les résultats ont été satisfaisants. Les faciès sont déterminés avec moins de sûreté qu'au Sahara, en particulier à cause des carapaces latéritiques. Mais lorsqu'une erreur se produit, elle est facile à corriger d'un coup pour toute la formation considérée, dès qu'on s'en est aperçu en un point.

3) Photogéologie en forêt africaine -

Un essai a été fait sur la région des gisements de Franceville que nous reconnaissons actuellement. Les résultats ne sont pas aussi satisfaisants qu'on l'espérait mais la méthode semble susceptible de grands perfectionnements en s'inspirant des résultats obtenus en Guyane.

B Photogéologie en Guyane française -

B. CHOUBERT a utilisé au maximum les possibilités que lui offrait la photographie aérienne (20). "Elle permet de compenser l'absence de visibilité dans la grande forêt et la rareté des affleurements. Sans ces photographies nos cartes seraient encore ce qu'étaient nos anciennes esquisses qui, dans des pays tels que la Guyane, ne représentaient qu'un essai d'interprétation de données extrêmement sporadiques... Avec une certaine habitude on arrive généralement à une grande précision dans les déterminations des différents reliefs pétrographiques et de certaines structures".

Avant d'aller sur son secteur, le géologue étudie les photographies aériennes et établit un certain nombre d'itinéraires, orientés de manière à reconnaître les différentes formations qui apparaissent sur les photographies et à vérifier certains points.

Sur le terrain, ses itinéraires suivent principalement les cours d'eaux, dans les vallées desquels il a le plus de chances de trouver des affleurements.

Au retour, il reprend l'examen des photographies à la lumière de ses observations, qui sont reportées sur une carte.

L'étude des photographies aériennes permet :

- a. une bonne cartographie d'unités géomorphologiques. Après une assez longue expérience, on peut distinguer les différents reliefs pétrographiques et, par suite, tracer avec précision les contours géologiques. Les filons de dolérite et les bandes de roches dures (conglomérat quartzeux par exemple) sont particulièrement visibles.
- b. la détermination des structures plissées. Les plis formés par des roches de nature différents se marquent par des auréoles ou des ellipses concentriques. On voit aussi que certains granites (des granites Caraïbes anciens) se sont logés dans des anticlinaux. Ces structures sont difficilement visibles sur le terrain : les affleurements avec pendages nets sont très rares, et, sauf dans les grès, la distinction entre stratification et schistosité est rarement possible.
- c. les champs de fractures. Les failles ne sont presque jamais directement révélées sur le terrain par des zones broyées ou filonien-

Mais un grand nombre de cassures, avec ou sans rejet, s'inscrivent dans la morphologie en déterminant en particulier le tracé de cours d'eau et apparaissent ainsi sur les photographies aériennes. Il est difficile d'apprécier l'importance relative de ces fractures. Leur grand nombre risque même d'être une source de confusion. Aussi B. CHOUBERT essaie-t-il de les classer et de faire un choix des principales. Toutefois, il se heurte à la difficulté suivante : les cassures qui apparaissent le plus nettement sont celles qui ont eu un rejeu récent (par exemple au Tertiaire), tandis que beaucoup de cassures anciennes, bien qu'importantes, sont plus sinueuses et plus visibles d. limites. Il faut dire toutefois que les photographies examinées sont au 1/50.000^e environ et la forêt forme un écran ; aussi les petits filons, qu'ils soient minéralisés ou non, ne sont généralement pas visibles. Il apparaît beaucoup de directions sur les photographies et elles ne sont pas toujours interprétables : par exemple, les directions très variables et très sinueuses observées dans les migmatites.

Nous reproduisons deux exemples caractéristiques des interprétations réussies par B. Choubert (voir photos).

VI. Prospection aérienne en Afrique française -

Placés devant l'immensité des surfaces à prospecter, nous avons dès 1953 pensé à la prospection aérienne. A cette époque, de nombreux essais avaient été effectués dans d'autres pays avec des succès douteux. Les premières expériences furent tentées au Maroc et à Madagascar avec un piper-cub, équipé d'abord d'un gammamètre ou d'un scintillomètre à main, puis d'un scintillomètre spécial MARK VI. Les résultats furent si encourageants que, dès 1955, nous développons ce mode de recherches en les confiant à une entreprise privée : la prospection devenait systématique et enregistrée sans observateur à bord, c'était une méthode géophysique. Parallèlement, nous maintenions un stade de reconnaissance détaillée, en avion léger, avec observateur à bord.

La vérification au sol des anomalies trouvées nous conduisit rapidement à constater que la prospection "géophysique" donnait des résultats difficilement utilisables, alors que la prospection détaillée avec observation donnait toute satisfaction. Le problème fut repris en détail et nous espérons maintenant aboutir à la mise au point d'une technique de prospection aussi éprouvée que les méthodes classiques (10).

1) Conditions actuelles de la prospection aérienne -

Nous distinguons toujours une phase de reconnaissance et une phase détaillée.

- a) - Dans la première, un avion léger monomoteur (Cessna 180) ou bimoteur dans les régions forestières (Piper-Apache), survole, selon des lignes espacées d'un kilomètre, la région choisie. Nous avons été conduits aux tendances suivantes pour le matériel et la méthode de travail :

- les gisements d'U donnant généralement de petites anomalies, il faut employer un scintillomètre très sensible, de façon à réduire la marge de fluctuation statistique dans laquelle peuvent se perdre les petites anomalies significatives.
- le matériel d'enregistrement doit être parfaitement étudié et adapté au scintillomètre en fonction de sa constante de temps, et à l'avion en fonction de sa vitesse.
- l'avion ne doit pas voler trop vite, compte tenu de la constante de temps non négligeable des scintillomètres. Actuellement nous ne dépassons pas 200 km/h.
- l'avion doit voler à une altitude aussi constante que possible ; celle-ci est fixée à 75 m mais il sera peut-être possible de l'augmenter un peu avec les scintillomètres très sensibles.
- il serait extrêmement intéressant de pouvoir discriminer les rayonnements dus au thorium de ceux dus à l'uranium, si cette discrimination peut se faire sans perdre trop de sensibilité. Nos services travaillent à ce problème. (10)
- l'analyse des enregistrements doit être conduite avec beaucoup de souci de détail et d'expérience. Elle donne actuellement beaucoup d'anomalies qu'il ne faut pas craindre de vérifier toutes au début, soit en prospection aérienne détaillée, soit au sol.

b) - Dans la prospection détaillée, le rôle de l'observateur est capital. Pour l'aider, nous employons divers accessoires : cornes d'alerte à seuil réglable, magnétophones pour enregistrer les observations sans avoir à les écrire. Le travail se fait soit en hélicoptère, soit en Piper-Cub, car l'altitude doit rester très basse (de l'ordre de 30 m), la vitesse réduite (de l'ordre de 100 km/h) et par conséquent la maniabilité très grande. L'enregistrement, utile, n'est pas indispensable.

2) Examinons maintenant comment cette méthode a été adaptée aux différentes régions.

a) - AU SAHARA - Nous avons couvert 120.000 km² en prospection aérienne systématique de reconnaissance. Le travail ne peut être fait qu'entre Novembre et Mars, où les turbulences ne sont pas trop fortes. Les conditions de vol au désert restent très dures pour les appareils et les poussières siliceuses en suspension provoquent une usure extrêmement rapide des moteurs.

Les zones de cristallin, peu accidentées à l'ex-

ception des granites intrusifs, ont été volées sans gros ennuis. La difficulté principale dans l'utilisation des résultats provient de la grande variabilité des mouvements propres, quelquefois du simple au triple.

Les zones sédimentaires, par contre, présentent un mouvement propre bas et constant sur lequel les anomalies se "voient" mieux. Mais leur relief est si déchiqueté que les normes de vol sont difficiles à suivre, parfois même impossibles. Les zones non volables sont alors extraites et traitées directement par la prospection aérienne détaillée.

Celle-ci a totalisé jusqu'ici au Sahara environ 400 h de prospection en Piper-Cub et 350 h en hélicoptère. Pour cette prospection aussi, les conditions de vol sont dures.

Mais la dénudation des roches permet à l'observateur d'orienter son travail avec l'efficacité maximale, et ce type de prospection donne de très bons résultats. Le travail de vérification des anomalies trouvées lors de la première phase, en particulier, est conduit 8 fois plus vite que par un groupe au sol, pour un prix de revient au kilomètre carré prospecté sensiblement égal. L'hélicoptère qui peut pratiquement se poser partout au Sahara, est réellement un instrument de travail si intéressant qu'on souhaite voir généraliser son emploi de sorte que le prix de l'heure, encore trop élevé, puisse être abaissé.

- b) - En Afrique moyenne - Dans la région de Kayes au Soudan, nous avons couvert 40.000 km² en prospection de reconnaissance. La seule difficulté est l'extrême chaleur qui fait chauffer les moteurs et interdit les vols d'Avril à Septembre. Aucune prospection détaillée n'a encore été faite, mais l'emploi de l'hélicoptère, quoique moins facile qu'au Sahara, est probablement possible et profitable.
- c) - En Afrique centrale - Nous n'avons couvert sur forêt que 5.000 km². Comme nous survolions ces régions pour la première fois, nous avons aménagé la méthode de la façon suivante, pour recueillir le maximum d'informations :
 - vols systématiques tous les 500 -
 - vols en "rim" sur tous les reliefs -

Le principal obstacle provient des difficultés de repérage des vols ; les photographies aériennes ne zone équatoriale sont généralement mauvaises et représentent des zones de forêt très difficilement identifiables. Nous essayons de parer à cette difficulté

par des systèmes de radioguidage

La hauteur des arbres atteint parfois 70 m et oblige à voler à 100 m d'altitude. Tout atterrissage forcé ayant des conséquences funestes, nous avons adopté des appareils bimoteurs pour augmenter la sécurité dans ce travail sur forêt.

Enfin, il existe probablement des conditions locales spéciales de la propagation des rayonnements, dues au climat et à la végétation, qui sont en cours d'étude.

- d) - Au Cameroun - Nous utilisons un Piper-Cub pour une prospection détaillée "à la demande". L'avion travaille en étroite liaison avec un groupe au sol, dont il oriente au fur et à mesure le travail.
- e) - A Madagascar - La méthode de travail est analogue à la précédente. On y effectue aussi des vols systématiques de reconnaissance. La prospection aéroportée a été extrêmement précieuse pour déterminer les extensions des gisements d'urano-thorianite et même découvrir de nouveaux gisements dans des zones couvertes de forêt épaisse très dense où l'exploration à terre aurait eu beaucoup de peine à les découvrir. (8)
- f) - Enfin en France même, dans les Alpes l'hélicoptère a permis de découvrir en altitude des indices entièrement nouveaux très prometteurs, mais dont la reconnaissance à terre a demandé ensuite une journée de course en montagne. (2)

En conclusion, nous noterons l'importance qu'a prise la prospection aérienne dans nos programmes en Afrique. En gros, elle représente la moitié de nos dépenses au stade actuel de recherches.

Le principe simple et efficace de la méthode avait suscité de grands espoirs ; l'expérience nous a montré que l'application était beaucoup moins simple qu'on pouvait le penser. Mais rien dans les difficultés rencontrées n'a remis en question la possibilité même de repérer par avion un indice radioactif. Nous avons donc persévéré dans l'amélioration des appareils et des techniques et nous espérons obtenir un outil de travail définitivement valable, et d'un prix certes plus élevé qu'il ne semblait au départ, mais encore acceptable en regard de sa rapidité d'avancement

VII Prospection à terre - Méthodes classiques -

L'expérience du Commissariat confirme que la prospection "au marteau" reste, sous tous les climats et à tous les stades, la base du

travail. Sans doute, la découverte directe d minéralisation visible, avant que d'autres procédés - radiométrie ou géochimie par exemple - n'ait conduit déjà sur l'indice, est une bonne fortune très improbable. Mais il n'en reste pas moins que c'est par l'oeil et la main que le prospecteur prend contact avec le terrain et que ce contact est indispensable au géologue à chaque étape successive du travail de recherches, pour passer à l'étape suivante, en contrôlant les résultats acquis, en les interprétant "in situ" et en en déduisant le programme de poursuite des travaux ou éventuellement la décision d'arrêt.

La prospection au pan est très pratique pour la recherche des minéraux radioactifs réfractaires dans les alluvions. En ce qui concerne le Commissariat elle a été utile à Madagascar sur divers gisements : niobo-tantalates uranifères et thorifères, monazite thorifère et surtout les gisements d'uranothorianite. Par ailleurs, dans les pays à fort recouvrement, elle peut apporter des renseignements minéralogiques utiles (composition du bed-rock).

Mais la radiométrie reste l'outil essentiel de recherche au sol ; elle est étroitement liée aux appareils de radio-prospection, qu'il a fallu adapter aux conditions particulières des pays désertiques et équatoriaux (16). Les méthodes radiométriques elles-mêmes sont les mêmes que dans la métropole.

1) Qualités des appareils :

Du point de vue des utilisateurs, les conditions spéciales à l'outre-mer que doivent remplir les appareils de détection peuvent être énumérées de la manière suivante

- a) - la robustesse : en effet, la prospection outre-mer met le matériel à une très rude épreuve. Les transports en véhicule sur des pistes précaires sont la cause courante de casse et de détérioration. Au cours de la prospection même, les chutes du porteur de l'appareil et les chocs sont fréquents.
- b) - la légèreté : étant donné les autres charges que porte un prospecteur, les fatigues dues au climat excessif et au terrain difficile (forêt, marécages, etc.) il est admis que le poids maximum que doit avoir l'appareil de détection employé pour l'exploration est de 3 kg.
- c) - Il faut que l'appareil soit très sensible puisqu'au cours de l'exploration il faut détecter les anomalies de radioactivité faible ; ceci est particulièrement impératif dans les zones équatoriales où, comme nous l'avons dit, la radioactivité est presque complètement masquée par les recouvrements.
- d) - Il faut aussi que l'appareil soit fidèle, c'est à dire que placé plusieurs jours d'intervalle au même

point, il donne les mêmes indications. Cette condition doit être remplie malgré l'usure progressive des piles, rapide en climat humide. On admet qu'une bonne fidélité correspond à des variations inférieures à 5% - elle suppose entre autres que l'appareil soit très étanche à l'humidité.

- e)- Il faut que le ravitaillement en pièces de rechange et surtout en piles soit le plus aisé possible pour les agents éloignés de tout centre.

2) Modèles d'appareils

Nous utilisons Outre-Mer, en ce qui concerne la radiométrie à pied, les types d'appareils suivants, mis au point par les Services de Constructions Electriques du Commissariat grâce à l'expérience acquise au cours des années et fabriqués maintenant par l'industrie française sous licence.

- a)- L'appareil gammaphone destiné à la prospection rapide et dans des conditions dures; divers modèles existent (C E R E., S.R.A.T., etc....). Leur poids est inférieur à un kilogramme; ils ont une bonne étanchéité; ils sont alimentés par une ou deux piles torches de 1,5 volts, aisées à trouver partout et de bonne conservation en climat humide. Ceci leur donne une autonomie en service continu de 50 heures. Leur prix est de l'ordre de 40.000 francs. L'ennui des premiers modèles était l'obligation du port d'un casque à écouteurs assez pénible dans les pays chauds. Actuellement, ils sont aussi dotés d'un petit haut-parleur. Le mérite du système audiométrique est de rendre la précision indépendante de toute constante de temps de l'appareil et l'opérateur peut sur une anomalie déterminée compter un temps suffisant pour obtenir une excellente précision. Toutefois, le comptage devient difficile lorsque l'anomalie est assez faible. La sensibilité de ces appareils ne permet pas non plus de détecter les anomalies très faibles. Un bon emploi de ces gammaphones est dans la prospection alluvionnaire pour reconnaître si les concentrés de batées contiennent des éléments radioactifs.
- b)- L'appareil le plus couramment employé pour l'exploration générale est le G.M.T. 14, fabriqué par S.R.A.T., qui est doté de tubes Geiger d'une surface utile de 300 cm². Cet appareil est monté avec des transistors. Il comprend trois gammes de sensibilité et permet d'apprécier des anomalies de radioactivité de 10% du mouvement propre avec un recouvrement entre gammes supérieur à 5%. Il résiste huit heures sous un mètre d'eau à 40°C. Son alimentation est faite avec des piles torches de 1,5 volts (3 ou 4). Son autonomie est de 20 heures en marche continue. Il pèse 2,5 kg et son

prix est de l'ordre de 150 000 francs. On peut le doter d'un avertisseur sonore qui est très utile lorsqu'on progresse en terrain difficile où l'observation constante du cadran n'est pas possible. Cet appareil constitue un progrès considérable et les utilisateurs en sont très satisfaits. Son alimentation avec des piles torches a supprimé tous les ennuis apportés par les piles à haute ou moyenne tension (300 volts ou 67 volts). Celles-ci autrefois expédiées de France par avion arrivaient souvent à l'utilisateur ayant perdu le tiers ou parfois la moitié de leur temps d'usage possible. Si on désirait constituer une réserve, il fallait les conserver en réfrigérateur à condition toutefois, avant la mise en service, de procéder à un réchauffage graduel.

- c)- Pour la prospection détaillée sur des indices et surtout l'établissement de plans-compteurs (courbes isorads), nous utilisons un appareil beaucoup plus précis encore, dénommé A.V.P.

Il comporte neuf tubes dont chacun a une surface utile de 100 cm². Il résiste également 8 heures sous un mètre d'eau à 40°C et sa fidélité est de 3%. Son alimentation est effectuée par des accus cadmium-nickel étanches incorporés avec le chargeur. Cette batterie peut être chargée en 110 volts ou 220 volts alternatif et en 6 - 12 - 24 volts continu, de sorte qu'on est sûr de pouvoir le charger avec les moyens simples dont dispose un petit centre de recherches. Il possède également trois gammes de sensibilité avec les recouvrements suffisants. Les premiers modèles pesaient 9 kg; grâce à son équipement avec des transistors, le dernier modèle ne pesait plus que 5 kg. Son prix est de l'ordre de 350.000 francs.

- d)- Signalons pour mémoire, les appareils adaptés aux travaux miniers de recherche et d'exploitation (G.B.M. - C.E.R.E. et S.R.A.T. - G.M.T.15.).
- e)- Pour le contrôle des travaux de sondage, nous utilisons deux types d'appareils qui servent pour effectuer les "radiologs" de sondage : pour les sondages à partir de la surface, nous employons une sonde auto-alimentée de 32 cm de diamètre qui peut résister à 150 kg/cm² de pression, ce qui permet de l'utiliser à toutes les profondeurs atteintes jusqu'ici. Généralement, cette sonde est munie d'enregistrement graphique.

Pour les petits sondages de reconnaissance effectués dans les travaux miniers, nous employons une sonde auto-alimentée de 20 mm de diamètre qui permet d'aller jusqu'à 100 mètres, quoique les trous effectués au marteau perforateur n'aient d'ordinaire qu'une vingtaine de mètres de longueur. La sonde est reliée par câble à un appareil à cadran type G.B.M.. C'est également cette sonde que nous utilisons pour

les trous de recherches effectués à la tarière en Guyane, par exemple, pour recouper le recouvrement très épais et reconnaître la radioactivité du bed-rock. C'est un outil extrêmement pratique.

- Signalons que nous mettons à l'épreuve une nouvelle sonde à scintillation auto-alimentée.

f)- Scintillomètres :

Jusqu'ici la fabrication des scintillomètres en France a été retardée par le manque de constructeurs spécialisés dans la fabrication des cristaux et des photo-multiplificateurs. Actuellement, la production française est lancée et les premiers résultats d'appareils éprouvés sur le terrain sont satisfaisants, mais l'expérience n'est pas suffisante pour en parler d'une façon définitive.

Cependant, nous utilisons couramment des appareils de fabrication étrangère, américaine notamment.

En France, ou sous les climats non excessifs, ces appareils nous donnent satisfaction et leur grande sensibilité est très appréciée.

Dans nos mission d'outre-mer, la position des utilisateurs est beaucoup moins nette et certains auraient même une opinion voisine de celle de Davidson et Bowie (26), en faveur des compteurs Geiger.

Nous avons décrit les avantages des compteurs type G.M.T 14. De leur côté, les scintillomètres sont mécaniquement assez fragiles et surtout ils exigent une alimentation en piles de haute et moyenne tension dont nous avons déjà dit tous les inconvénients en pays difficiles. Le photo-multiplificateur exige une tension de 1500 volts et une faible chute de tension dans un scintillomètre empêche totalement son fonctionnement, ce qui n'est pas le cas pour un compteur Geiger.

La comparaison entre les deux appareils fondée sur notre expérience donne les résultats suivants :

- 1° L'emploi de compteurs G.M. au Sahara est absolument sans ennui. La pénétration de sable demande simplement un nettoyage fréquent mais n'a pas les inconvénients qu'il présente pour les appareils à pièces mobiles (moteurs, montres, etc.).

En ce qui concerne les scintillomètres au contraire, les cristaux et les photomultiplicateurs sont extrêmement sensibles aux chocs thermiques ou mécaniques.

2° Dans les régions à grande humidité, la comparaison est encore plus nette. Nous avons des G.M.T.14 en Guyane qui fonctionnent tout le long de l'année sous la pluie et dans une humidité permanente considérable. Nous avons essayé d'employer les scintillomètres dans les mêmes conditions; ils sont rapidement tombés en panne. En fait, chaque scintillomètre a besoin d'être revu par le spécialiste au moins une fois par mois, souvent plus, et sur le terrain on constate au cours d'une même journée plusieurs périodes où son fonctionnement est satisfaisant et plusieurs temps de pannes. Ceci est évidemment un gros inconvénient.

3° Il est certain que cet appareil est nettement plus sensible que le compteur. Notre expérience de Guyane a montré cependant que le compteur n'a pas laissé passer des anomalies faibles découvertes de son côté par le scintillomètre; il suffit pour arriver à ce résultat que le compteur soit entre les mains d'un agent plus soigneux et qui travaille plus lentement que celui qui travaille avec le scintillomètre. Par conséquent, notre solution est d'employer en même temps le scintillomètre et le compteur, le premier servant à une prospection rapide et en même temps sensible tant que son fonctionnement est convenable. On le remplace dès qu'il a une défaillance par le compteur en suivant une cadence moins rapide.

Notre effort tend actuellement à perfectionner la construction du scintillomètre en l'équipant de transistors, de façon à éliminer les sources de défaillance et à le rendre plus sûr. Lorsque cet objectif sera atteint, il est certain que le scintillomètre deviendra l'instrument idéal. En même temps, nous l'équiperons d'avertisseurs sonores pour pouvoir l'employer dans les zones à progression difficile où l'attention de l'observateur risque d'être mise en défaut.

)- Autres appareils électroniques

1° Nos missions permanentes sont dotées de compteurs à échelle de 1000 qui leur permettent de doser radio-métriquement les minerais qu'elles découvrent. Ces appareils sont fabriqués dans les ateliers du Commissariat. Pourvu qu'ils soient manipulés et entretenus par un bon agent électricien, ces appareils ne donnent pas de difficulté même dans les climats très humides.

2° Fluorimètre - en Guyane, nous avons depuis dix-huit mois un fluorimètre qui travaille en pleine forêt. Le photo-multiplicateur de cet appareil n'a donné jusqu'ici aucun ennui grave, malgré plusieurs transports et l'humidité. Toutefois, il a besoin

d'être contrôlé de près pour que ses indications soient fidèles et exactes.

- 3° Appareils de radio-transmission - Nous utilisons pour nos divers réseaux de transmission au Sahara, en Afrique Centrale et à Madagascar, une gamme d'appareils de différentes puissances 20w, 50w et 400w. Ce sont presque tous des modèles en service dans l'Armée. Au Sahara, les résultats sont remarquables ; en Afrique Noire, ils sont moins brillants mais donnent encore largement satisfaction.

Remarque générale sur la marche du matériel électronique -

Il est évident que la qualité des appareils et l'adaptation des divers modèles à l'usage qui doit en être fait est une condition essentielle. Mais on se ferait une grande illusion en croyant qu'elle est suffisante.

L'expérience acquise par le Commissariat est formelle à cet égard : sous tous les climats, il est nécessaire que le matériel soit très régulièrement et très soigneusement entretenu. Dans les pays difficiles, cela devient une question de longue vie (ce qui signifie en même temps bon travail des équipes) ou de mort rapide (ce qui signifie en même temps paralysie des équipes). Donc malgré la difficulté et le prix de l'envoi dans ces pays lointains d'un électronicien expérimenté et de l'installation de son laboratoire, il ne faut pas hésiter à le faire, le bénéfice en sera très supérieur à la dépense ; non seulement par l'action personnelle de ce spécialiste afin de garder en état, régler et réparer les appareils, mais parce qu'en même temps il conseillera et aidera constamment les utilisateurs dans l'emploi et la conservation du matériel qui leur est confié.

VIII. Méthodes géochimiques -

Dès 1954, on a commencé à utiliser les méthodes géochimiques à la prospection de l'uranium et une section spéciale a été créée à cet effet (23). Depuis, cette section a multiplié ses études et ses essais dans la métropole et a réalisé de très grands progrès qui sont exposés dans une communication spéciale à cette conférence (II).

Nous avons cherché à étendre l'application de cette technique à nos prospections dans les territoires d'outre-mer, car il est évident que si nous réussissions, le bénéfice en temps et en dépense qui en résulterait serait encore plus sensible que dans la métropole. C'est également l'opinion professée par Davidson (24). Mais en revanche, pour de multiples raisons, les conditions de cette application étaient beaucoup plus délicates

A Essais en Guyane -

Nous décrirons d'abord ces essais qui ont été les plus poussés.

1) Conditions locales -

Au moment du lancement de cette nouvelle zone de prospection en août 1956, il est apparu que la Guyane pourrait être un champ favorable à l'essai de cette technique.

En effet :

- Comme nous l'avons dit, la presque totalité du pays est couverte d'une forêt dense et les seules voies de pénétration sont les rivières. Les prélèvements dans les eaux et les alluvions étaient donc l'opération la plus aisée
- On a remarqué que la morphologie du pays consiste en une série de bassins constitués par un grand fleuve et quelques gros affluents en nombre très limité dans lesquels se jette une multitude de petits tributaires dont chacun draine un bassin versant de surface très réduite.

Par conséquent, si en prélevant des échantillons d'eau successivement dans chacun de ces tributaires, on découvrirait une anomalie, les recherches afin d'en localiser l'origine seraient ensuite limitées à une faible superficie.

- La présence à Cayenne d'un laboratoire de chimie appartenant au Bureau Minier Guyanais, bien équipé et avec un personnel compétent, permettait d'envisager l'installation d'un laboratoire d'analyses fluorimétriques, capable d'effectuer des dosages sensibles et sûrs.
- En Guyane, une couverture de photos aériennes bien faites permet un bon repérage des itinéraires.

Cependant, des éléments défavorables existaient :

- L'abondance des précipitations moyennes dans l'année et les brusques variations du débit, au moment des crues à certaines époques, risquaient de gêner l'interprétation des résultats de l'hydrogéochimie.
- La difficulté et la lenteur des transports risquaient de paralyser l'envoi des échantillons jusqu'au laboratoire de Cayenne et retarder d'une manière très préjudiciable l'exploitation par l'équipe de terrain des résultats fournis par les analyses. Pour pallier cet inconvénient, l'idée est venue de tenter dès que possible de faire fonctionner un laboratoire fluorimétrique en forêt.

Les premiers essais ont déjà été décrits par R.COULOMB qui les avait lancés (22) . Depuis, ils ont été poursuivis; la méthode a été modifiée et associée à la radiométrie.

2) Méthode de prospection des conglomérats de l'Orapu -

Cette méthode que nous avons employée à notre arrivée en Guyane n'était qu'une transposition de la prospection générale radiométrique, utilisée par le C.E.A. en France

En outre, un essai de prospection géochimique sur les eaux et les sols de ces conglomérats était tenté corrélativement.

Cet essai, puis la mise en route de la prospection géochimique des minéraux d'U furent effectués par R.COULOMB, Ingénieur-Chimiste au C.E.A. d'août à Novembre 1956.

a) Description de la méthode -

- Un layon principal suivant chacune des bandes de conglomérats.

- Des recoupes transverses espacées de 250 m.

Sur ces layons et recoupes, le gammamètre était passé continuellement avec une mesure rapide tous les 5 mètres. Cette mesure n'était relevée que quand elle était anormale (à partir de 1,5 à 2 mouvements propres).

- Des prélèvements de sols à la maille de 250 m.

- Des prélèvements d'eaux courantes et "d'alluvions" dans les lits à vif, à chaque cours d'eau rencontré (soit à 3 à 5 par km² reconnu).

b) Appréciations -

Cette méthode est sûre, mais lente et coûteuse.

Elle a permis de déceler des zones radioactives faibles (de 2 à 5 mouvements propres).

L'avancement moyen a été voisin de 1 km. par jour le long des bandes de conglomérats, pour une équipe de terrain comprenant deux prospecteurs et une quinzaine d'hommes (dont deux aides-techniques pour le laboratoire de géochimie installé dans la forêt à un camp central)

Techniquement, ce chiffre est satisfaisant et difficile à dépasser.

Il ne correspond cependant qu'à une surface de prospection mensuelle comprise entre 30 et 40 km².

Aussi le prix de revient total du kilomètre carré

prospecté a varié de 125 000 frs à 100 000 frs, d'août 1956 à février 1957, au fur et à mesure que l'équipe acquérait de l'expérience. Pendant les mois de janvier et février 1957, les conglomérats de l'Orapu ont été prospectés sur cinquante kilomètres de long et sur environ 75 km² de superficie par :

- 330 km de layons radio-prospectés
- 800 prélèvements de sols à la maille de 250 m
- 250 prélèvements d'eaux courantes et d'alluvions.

c) Conclusions -

- 1° Le coût d'une telle prospection radiométrique et géochimique à la maille de 250 m est prohibitif pour une recherche d'indices dans une région équatoriale.
- 2° Cette prospection est efficace dans un secteur bien défini et présentant déjà un indice uranifère intéressant.

3) Essai de prospection hydro-géochimique seule et à maille lâche -

Cet essai fut effectué à la fin de 1956 dans un secteur granitique d'environ 500 km².

Les principales rivières furent assez rapidement remontées en canot (en un peu plus d'un mois), et des prélèvements d'eaux et "d'alluvions" furent effectués dans les affluents des deux rives : au total 152.

En général, un prélèvement d'eau correspondait à une surface drainée de 3 à 5 km².

Quelques anomalies faibles (entre 0,1 et 0,25 p.p.b. d'U) furent enregistrées. (La teneur fondamentale dans les eaux courantes de la Guyane est de l'ordre de 10^{-8} d'U au litre).

Ces anomalies ne furent pas confirmées par des prélèvements de contrôle.

Appréciation -

Cette méthode nous apparaît trop incertaine dans ses résultats pour que nous la recommandions sur une grande échelle. En effet :

- Elle reste relativement coûteuse (sans doute entre 2.000 et 5.000 francs le km² reconnu).
- Elle ne fournit que des renseignements très incomplets : la reconnaissance géologique et radiométrique des formations traversées est pratiquement nulle.
- Les résultats des analyses hydro-géochimiques sont très

incertains dans les faibles teneurs où nous devons travailler. Une anomalie faible et variable peut facilement ne pas être décelée.

Après cet essai, nous avons conclu qu'on ne pouvait espérer utiliser la géochimie en Guyane pour une exploration générale rapide et peu coûteuse. Elle doit être appuyée par des mesures radiométriques et le nombre des prélèvements doit être suffisamment élevé.

Cependant, entre temps, on avait mis au point l'installation d'un laboratoire fluorimétrique en pleine forêt et son fonctionnement satisfaisant avec du personnel recruté localement; ceci permettait donc d'augmenter considérablement le nombre des échantillons à analyser, puisqu'on était débarrassé des sujétions de transport des échantillons.

4) Prospection géochimique à maille serrée -

On a donc adopté la méthode dite de la maille serrée qui est en vigueur actuellement et qui est décrite avec ses résultats dans le dernier chapitre de cette communication

5) Résultats techniques -

a) nombre d'analyses effectuées et prix de revient -

En 1957, nous avons analysé 1552 prélèvements d'eau
et 3944 prélèvements de sols

pour une somme totale de 8.100.000 francs.

Une analyse d'eau est revenue à 3.460 frs; une analyse de sol, environ 5 fois moins coûteuse, est revenue à 690 frs.

b) Valeurs des anomalies -

Les teneurs en U des eaux et des sols sont très faibles en Guyane : - pour les eaux, la teneur fondamentale est de l'ordre de 10^{-8} g/l; elle est inférieure à 0,05 p p b

- pour les sols et alluvions, qu'ils soient sur les conglomérats de l'Orapu, la série de Paramaka ou sur des granites altérés, les teneurs fondamentales ne dépassent pas 0,5 p.p.m. Des étalons doivent être faits journalièrement pour contrôler la bonne marche du fluorimètre.

c) Possibilités d'interprétation -

• Cas des eaux : Nous travaillons à la limite de sensibilité de la méthode de dosage. Il semble qu'une teneur comprise entre 0,1 et 0,2 p.p.b. serait vraiment anormale; mais

elle est difficile à apprécier avec certitude, d'autant plus que le contenu uranifère des eaux varie largement d'une saison à l'autre et parfois d'un jour à l'autre, au début des premières pluies.

Nous n'avons eu qu'exceptionnellement des teneurs de l'ordre de 1 p.p.b. (à la Montagne de Kaw, en novembre 1956).

Une teneur de 0,5 p.p.b., franchement anormale, est décelable.

Empiriquement, nous pensons qu'au mieux, dans les faibles teneurs mesurées, le résultat est connu à 0,05 p.p.b. près et parfois à 0,1 p.p.b. près. C'est à dire que le coefficient d'indétermination de la méthode est de l'ordre d'une anomalie faible.

Nous ne pensons cependant pas qu'il faille déjà renoncer à doser l'U dans les eaux courantes; la méthode doit pouvoir être améliorée.

- Cas des sols et alluvions - La méthode est beaucoup plus convenable et économique pour le dosage de l'U dans les sols et dans les alluvions argileuses des cours d'eau.

A partir de 1 p.p.m. les résultats nous paraissent garantis 3 fois sur 4. Entre 2 et 4 p.p.m. d'U, teneurs anormales pour un fond inférieur à 0,5 p.p.m., le résultat est généralement connu à 0,5 p.p.m. près, ce qui est tout à fait suffisant. Pour les teneurs plus fortes, un dosage à 1 p.p.m. près ne présente pas d'inconvénient. Il suffit en effet de faire ressortir les anomalies.

De toute façon, si l'on veut plus de sécurité et de précision, il est facile de confirmer une anomalie de 2 ou 3 p.p.m. par une seconde analyse du prélèvement.

Nous avons constaté que les anomalies radioactives du Paramaka (anomalies allochtones et superficielles, localisées aux points d'émergence de sources contenant du radon) sont en relation avec des alluvions riches en matière végétale et contenant des quantités d'U et de radium faibles mais cependant anormales.

Ainsi des sols légèrement radioactifs (de 50 à 150 c/s A.V.P., c'est à dire de 3 à 10 mouvements-propres), contiennent autour de 2 p.p.m. d'U alors que les eaux correspondantes ont à peine 0,1 p.p.b. d'U.

Mais un sol pris au griffon d'une source et donnant 2 000 c/s (soit plus de 100 mouvements-propres) n'a pas donné plus de 5 p.p.m. d'U; le Radium est en quantité 50 à 100 fois supérieure à l'équilibre normal, par rapport à la teneur en Uranium. Quant à l'eau de la source, elle ne

contenait pas plus de 0,1 p.p.b d'U.

6) Conclusions -

Nous ne voulons pas dire que nous avons atteint un stade qui comble tous nos désirs, mais il constitue un progrès énorme par rapport à la situation où nous serions si nous ne disposions que des méthodes radiométriques pour prospecter un pays aussi difficile que la Guyane. Il importe aussi de souligner que le laboratoire géochimique et son fonctionnement n'ont coûté que 17% des frais généraux de prospection et de radiométrie et que pour obtenir par simple radiométrie la même sécurité que par notre méthode actuelle, il faudrait dépenser deux fois plus. Enfin, la géochimie a l'avantage très important de nous renseigner sur la minéralisation uranifère (ou thorifère) et non sur la simple radioactivité. En résumé, c'est l'association des deux méthodes radiométrique et géochimique qui est la solution la plus féconde.

B Géochimie en Afrique Equatoriale -

La géochimie y a été lancée postérieurement à la Guyane et après la découverte des très beaux indices du gisement de Mou-nana près de Franceville. Elle a donc été appliquée non plus à l'exploration comme en Guyane, mais au développement et à la recherche de l'extension de ces indices qui sont décrits dans le dernier chapitre.

Les résultats des campagnes géochimiques entreprises dans ces conditions montrent que par une campagne géochimique préliminaire exécutée dans les conditions suivantes :

- a) eaux et alluvions, maille de l'ordre de 1 km, une zone d'anomalie de 4 à 5 km de rayon entourant les indices aurait probablement été définie;
- b) eaux et alluvions, maille de 400 à 600 m, la zone entourant directement les indices aurait été délimitée;
- c) sols, profils de 20 à 50 m, prélèvements tous les 5 à 10 m, les indices affleurants auraient été déterminés.

C. Essais de géobotanique au Hoggar -

Cette technique de prospection est encore peu avancée dans le monde; il convient de distinguer la recherche des plantes indicatrices des analyses pour l'uranium effectuées sur des végétaux accumulateurs.

Au Hoggar, nous avons effectué des prélèvements systématiques de végétaux sur des filons faiblement uranifères et aux environs.

Les espèces ont été déterminées par un botaniste spécialiste de la flore saharienne; 21 ont été reconnues, appartenant aux graminées, aux crucifères, aux composées et aux chenopodiacées.

Aucune de ces plantes n'a paru spécifique des zones uranifères. Par contre, une espèce: "Cornuca", semblerait susceptible d'accumuler un peu d'uranium. Des études sont en cours afin de confirmer ce point et aussi de trouver d'autres espèces accumulatrices.

IX Méthodes géophysiques -

En France, depuis plusieurs années, nous utilisons les méthodes électriques (résistivités, carte des potentiels, sondages électriques), sismique (réfraction), magnétométrique, et éventuellement gravimétrique, pour la recherche des extensions latérales des gisements connus ou pour réaliser la liaison des structures de deux points minéralisés voisins (11).

Nous avons cherché à étendre à l'outre-mer l'application de ces méthodes.

Hoggar -

En 1956, profitant de la découverte des indices filoniens d'El Bema, des essais de sondages en courant continu (méthode Schlumberger) ont été réalisés, mais n'ont pas abouti à des résultats positifs.

En effet, le courant pénètre rarement dans le sol, trop sec, et insuffisamment conducteur. Lorsqu'il pénètre, les mesures ne donnent pas des résultats interprétables de la même façon qu'en métropole.

Afrique Centrale -

Depuis 1957, le gisement de Mounana nous donne l'occasion d'utiliser la prospection électrique pour rechercher ses extensions. Après une période de mise au point, des résultats encourageants ont été obtenus pour la détermination des failles qui limitent l'amas. Cependant, il faut reconnaître que nous n'avons pas encore acquis la même sûreté qu'en France dans l'interprétation des mesures. Le recouvrement épais atténue les anomalies et aplattit les diagrammes; mais nous travaillons avec grande activité ce problème; nous pensons arriver bientôt à tirer un très grand parti de cette méthode et en faire un guide précieux dans la recherche, notamment dans l'implantation des sondages de reconnaissance que le recouvrement rend hasardeuse.

X Fouilles, sondages, travaux miniers de reconnaissance -

Nous n'évoquerons ici que quelques cas particuliers aux pays d'Outre-Mer :

A Au Sahara -

1. Emploi de sondeuses à air comprimé -

Les difficultés d'approvisionnement en eau nous ont conduits à essayer une sondeuse à air comprimé : la machine H.S.Record, de la marque Saut-du-Tarn, déjà employée par les compagnies géophysiques pour les sondages de sismique, a été choisie

La foration se fait par percussion, le marteau et le système de percussion se trouvant à l'extrémité du train de tiges, par lequel arrive l'air comprimé; la machine est montée sur roues avec un châssis simple et robuste; deux compresseurs Spiros C.B.S. de 40 CV suffisent à son alimentation. L'ensemble est ainsi facile à déplacer, même en terrain accidenté, avec un seul véhicule léger.

L'avancement est rapide, jusqu'à 30 m par poste; nous avons pu réaliser des forages inclinés à 70gr. jusqu'à 105m. Il n'y a pas de carottage, mais la récupération des poussières est possible; en outre, la vitesse d'avancement fournit de précieuses indications sur la dureté relative des terrains traversés.

Le seul inconvénient provient des terrains humides, qui peuvent donner des boues qui bouchent et coincent l'outil; cet ennui est rare au Sahara.

2. Tranchées et fouilles

De nombreux travaux de cette sorte ont été effectués au cours de nos missions. Comme on atteint en général rapidement la roche dure, nous avons développé l'emploi des marteaux perforateurs portatifs à essence. Bien que d'un rendement inférieur aux marteaux classiques à air comprimé, les appareils utilisés (Pinazza, Cobra) répondent au problème et nous comptons en généraliser l'emploi.

3. Travaux miniers -

Un puits de 30 m et un travers-banc de 46 m ont été réalisés à El Bema (Hoggar). Il est intéressant de noter que ces travaux, les plus éloignés vers le Sud qu'on ait entrepris jusqu'ici, n'ont donné aucune difficulté particulière, autres que celles d'approvisionnement du chantier à cause de son éloignement.

B. En forêt équatoriale -

1. Sondages -

En raison du recouvrement épais, les tranchées de reconnaissance sur une anomalie radioactive ou un indice minéralisé doivent être souvent poussées à une profondeur excessive sans atteindre la roche en place. On recourt alors à des sondeuses légères et manoeuvrées à main : tarière, Platyx, Benoto, ou des petites sondeuses à diamant comme il en existe quelques types. Les trous sont "radio-carottés" avec une petite sonde (voir page 35) ; ces trous sont multipliés afin de parvenir à un bon "écorché" de la roche et des formations minéralisées sous-jacentes. On a donc intérêt à adopter l'équipement le plus adéquat et à dresser des équipes particulières à ce travail.

Au deuxième stade de recherches correspondent des sondages plus profonds à travers les terrains en place. Le matériel classique peut être employé sans difficulté spéciale du fait de l'abondance de l'eau.

2. Travaux miniers -

Il y a seulement lieu de signaler que les venues d'eau sont souvent très fortes et d'autre part qu'il est parfois difficile de former du personnel au métier de mineur qui, sauf en certaines régions, est tout nouveau pour la main d'oeuvre locale et suscite en elle une très grande méfiance. On doit veiller de très près à la sécurité avec du personnel inexpérimenté et renforcer l'encadrement. Tout accident, surtout dans les débuts, sera interprété comme une manifestation surnaturelle néfaste aux travaux, et provoquera un refus général de poursuivre l'avancement. Sous cette condition, nous sommes parvenus à des résultats satisfaisants.

XI. Formation de la main d'oeuvre locale

Nous avons souligné combien dans les régions à climat excessif les ressources en main d'oeuvre locale sont à la fois très réduites et de basse qualité.

Les Européens de leur côté coûtent extrêmement cher, car il faut leur donner de très gros avantages pécuniaires pour qu'ils consentent à travailler dans des climats et des conditions pénibles. On ne peut leur confier que des fonctions de cadre ou de véritables spécialistes.

Il y a donc un double problème à résoudre :

- a) recrutement de manoeuvres,
- b) recrutement d'ouvriers ou d'agents demi-qualifiés.

Les solutions sont les mêmes dans tous les cas, quoiqu'elles

ne présentent pas partout le même degré d'importance et d'efficacité.

1. Tirer le meilleur parti possible du recrutement local,
- 2 Importer de la main d'oeuvre de régions voisines où la main d'oeuvre est plus abondante, et souvent aussi de meilleure qualité.

La première solution est la plus commode, mais elle est très limitée; la seconde en revanche comporte de grosses sujétions et des dépenses importantes: primes de recrutement, dotations d'équipement, transports des ouvriers (auxquels s'ajoutent souvent celui de la famille), installation de camps conformes aux coutumes d'habitat des ouvriers importés, ravitaillement régulier suivant le régime diététique auquel ces ouvriers sont accoutumés, etc. Tout cela comporte une lourde mise de fond qui parfois est perdue, car il arrive assez fréquemment que pour une raison ou une autre, quelquefois tout à fait imprévue, ces ouvriers ne se plaisent pas et repartent en masse.

Par conséquent, dès qu'une mission est importante, il y a intérêt à confier ce travail de recrutement à un agent qui est bien au courant des mentalités et moeurs des gens qu'il doit engager, et à veiller de près à l'organisation du recrutement et ses modalités : contrat de travail, transport, installations, etc. Il faut aussi s'efforcer d'éduquer le personnel engagé de façon à lui permettre de travailler dans de meilleures conditions de rendement et d'aisance et de se rendre apte progressivement à des travaux plus délicats.

Une dernière remarque plus générale : il faut en revanche ne pas se tromper et pousser chaque individu ou tout au moins chaque groupe racial dans la voie où il a des aptitudes et des chances de réussir; sinon on risquerait des déceptions très fâcheuses. C'est une affaire de psychologie.

Nous donnons ci-dessous les cas précis d'application de cette politique :

A. Au Sahara (Hoggar) -

Il faut distinguer les nomades blancs des sédentaires noirs

Les premiers sont totalement inadaptés aux travaux manuels et il faut envisager toute une éducation de base; par contre, ils sont susceptibles de rendre des services appréciables comme employés, chefs d'équipes, ou même comme aide-prospecteurs. C'est ainsi qu'au Hoggar, notre magasinier est un Touareg de famille noble.

Les noirs sédentaires des oasis, par contre, traditionnellement jardiniers, peuvent faire de bons ouvriers spécialisés. Nous avons formé l'année dernière un certain nombre de mineurs, d'aide-mécaniciens et de chauffeurs, dont le rendement a été très satisfaisant.

B En Afrique Noire -

En Afrique Noire, l'effort de formation professionnelle de personnel recruté localement a porté principalement sur la catégorie dite des aides-prospecteurs, secondairement, sur la formation d'aides de laboratoire (géochimie, électronique, minéralogie-pétrographie), de topographes et de sondeurs.

- Traitons d'abord les cas secondaires :

La Mission d'Afrique Centrale emploie des aides de laboratoire qualifiés pour ses différents laboratoires :

Electronique :

- 1 opérateur aux échelles de 1000 (dosage β - γ pour teneurs U)
- 1 aide chargé de l'entretien courant des appareils (AVP - Gammaphone - G.M.T.14 - postes radios. (formés sur place).

G é o c h i m i e :

- 2 aides de laboratoire effectuent toutes les opérations de routine standardisées (attaque - extraction - fusion - calcination - manipulation du fluorimètre, etc.). D'autres seront formés sous peu. (formés sur place).

Pétrographie-Minéralogie : 1 laborantin fabriquant des lames minces et des sections polies a été formé entièrement par nous en 1954.

Le niveau scolaire de ces agents africains est celui du Certificat d'Etudes primaires, ou parfois un peu supérieur (classe de 5ème ou 4ème des Lycées).

Des ouvriers sondeurs et machinistes africains ont été formés jadis; certains ont pu être récupérés récemment, d'autres sont en formation. Ils sont recrutés de préférence parmi les mécaniciens, leur formation leur est donnée sur le chantier.

- Le cas principal est constitué par celui des aides-prospecteurs. L'expérience est déjà ancienne et date de 1948.

Les fonctions et la qualification des aides-prospecteurs sont les suivantes :

- Levés d'itinéraires (cours d'eau, sentiers, routes, layons)

au 1/5000 à la chaîne et à la boussole

- levé radiométrique de ces itinéraires soit au compteur Geiger Müller (AVP - GMT 14), soit au scintillomètre
- établissement de plans compteurs (maille carrée de 1 x 1 m ou 5 x 5 m, ou profils espacés de 20 à 50 m avec stations plus serrées sur les profils.
- reconnaissance des grandes classes de roches et de certains minéraux. Prélèvements d'échantillons géologiques ou minéralogiques - étiquetage et repérage.
- exécution de batées.
- prélèvements géochimiques (sols, alluvions, eaux), préparation des échantillons pour expédition au laboratoire, repérage sur lever ou carte et numérotation.

Certains ont pu être spécialisés d'une manière plus poussée - opérateur à la règle à éclimètre et tachéomètre, opérateur de géophysique résistivité ou potentiels -

Toutes ces opérations sont accomplies par les aides-prospecteurs Africains sous le contrôle de prospecteurs ou de géologues Européens.

Recrutement -

Plusieurs expériences ont été tentées. La tendance actuelle est la suivante : les aides prospecteurs sont recrutés de préférence dans le territoire où ils seront appelés à servir.

Le niveau d'instruction minimum exigé est le Certificat d'études primaires; un niveau plus élevé serait souhaitable dans l'avenir mais est encore trop rare pour fournir un effectif suffisant.

Les candidats doivent être jeunes (18 à 20 ans). Il est peu favorable qu'ils soient d'une origine urbaine car ils s'adaptent mal aux conditions de la vie en brousse et beaucoup affichent un certain dédain pour la vie des populations paysannes qu'ils sont amenés à fréquenter. Le meilleur recrutement est fourni par les petits centres, où les candidats sont restés proches de la vie et des conditions de travail qu'entraîne la prospection.

Le recrutement est basé sur un concours d'entrée du niveau du Certificat d'études primaires. A ce concours, les éléments sont jugés sur leur bon sens, leur aptitude à l'observation, au calcul, et sur une rédaction permettant d'apprécier leur psychologie, les raisons qui les poussent vers la profession, etc...

Afin d'améliorer la qualité du recrutement et surtout de déceler de véritables "vocations" de prospecteur, des procédés de sélection psychotechnique spécialement mis au point ont été appliqués à Dakar. Les résultats sont excellents et les batteries de tests adaptées seront généralisées sur nos missions outre-mer.

Formation -

A partir des résultats de l'examen d'entrée, les élèves admis à suivre les cours reçoivent une formation théorique d'environ un mois. Cette formation leur est donnée au Centre de la Mission, ou sur la base d'un groupe de recherche territorial, par les ingénieurs, prospecteurs et spécialistes européens de la Mission. Le nombre des élèves admis au stage est en général de 12 à 15.

Au milieu de ce stage, un examen permet d'éliminer quelques éléments manifestement inadaptés. Ce premier mois comprend une reprise en main des élèves dans les domaines du calcul, de la géométrie et de la géographie. Des notions sommaires de topographie, de radioprospection, de minéralogie, de reconnaissance macroscopique de roches, leur sont données. Ces notions sont schématiques et réduites à leurs éléments indispensables.

En fin de cours un deuxième examen permet de ne retenir que le nombre d'élèves admis au stage de terrain.

Les élèves aides-prospecteurs sont alors envoyés séparément pour six mois sur des colonnes en brousse où ils participent en compagnie de leurs anciens et sous la direction du Chef de colonne, prospecteur ou géologue, à tous les travaux du groupe, et où un complément de formation leur est donné.

A la fin du stage de terrain, un dernier examen permet de conserver les bons éléments qui sont alors titularisés aides-prospecteurs et entrent dans un cadre comportant 5 classifications qui seront acquises au mérite dans l'avenir.

A l'occasion des fins de campagne, ou lorsque les circonstances permettent de réunir quelques aides-prospecteurs, des cours de révision ou de complément leur sont donnés. Une notation finale est effectuée et est utilisée au moment des changements de classification au même titre que l'avis des chefs directs.

Signalons enfin que des étudiants en géologie de l'Université de Dakar peuvent effectuer des stages pratiques dans notre Mission du Soudan.

Résultats obtenus -

La Mission d'Afrique Centrale emploie actuellement 31 aides-prospecteurs et une douzaine de stagiaires; celle du Soudan en compte 14 et 7 stagiaires.

D'une manière générale, on peut dire que le système fonctionne bien et que les résultats d'emploi sont satisfaisants. Néanmoins on devra tendre dans l'avenir, et ceci dans le cadre des réalisations générales faites dans le sens d'une amélioration professionnelle générale en Afrique Noire, à obtenir des éléments d'un niveau intellectuel plus élevé, et si possible à diriger les meilleurs vers une formation supérieure.

On se heurte malheureusement à la rareté des éléments ayant un niveau scolaire compris entre le C.E.P. et le Baccalauréat (Brevet élémentaire de 3ème par exemple) et au fait que ces éléments sont plus attirés par les postes d'employés que leur offrent actuellement les Administrations.

C. En Guyane Française -

L'activité de la mission de prospection des substances radioactives s'exerce sous la forme d'un Syndicat de recherches entre le Commissariat à l'Energie Atomique et le Bureau Minier Guyanais et a profité dès le début de l'effort effectué antérieurement par ce dernier pour recruter et former du personnel créole et du personnel d'importation (éléments "Saramaca" du Surinam) à divers travaux d'ouvriers et d'agents qualifiés. Toutefois, les techniques de prospection de l'uranium ont apporté l'occasion de pousser cet effort vers de nouvelles branches et notamment :

- la prospection radiométrique,
- les prélèvements des alluvions et des eaux

Les deux opérations sont maintenant très correctement faites par des ouvriers sélectionnés dans le personnel local. La seule condition est de leur donner un plan de travail nettement défini et aussi simple que possible.

- la plus belle réussite est d'avoir pu former à l'analyse fluorimétrique des eaux et des alluvions, deux agents recrutés localement qui opèrent dans une installation en pleine forêt. Tant en ce qui concerne la qualité et la cadence des analyses, elles sont très voisines de celles qu'on pourrait attendre d'un aide-chimiste européen. La seule condition est de s'en tenir toujours au même processus opératoire. Un essai de modification même très secondaire ne peut être envisagé qu'avec une extrême prudence.

En conclusion, nous retirons une impression très satisfaisante de toutes ces expériences et nous espérons pouvoir former dans les Territoires d'outre-mer du personnel qualifié pour leur développement industriel. C'est une question de volonté, de patience et d'intelligence.

3ème partie : TROIS EXEMPLES DE PROSPECTION OUTRE-MER

A. Prospection générale au Hoggar et recherches d'indices particuliers. (3) (4).

Les travaux du C.E.A. sur le massif central saharien (voir carte n° 1) ont débuté en 1953. Ils ont intéressé la partie Nord du massif, d'une part en s'étendant sur tout le Nord du bassin pharusien occidental, entre Tamanrasset et Arak, d'autre part en suivant d'Est en Ouest la bordure tassilienne de l'Ahnnet à Djanet (cf carte n° 4).

- 1) La prospection se fait en plusieurs phases théoriquement successives; en fait, dès que nous trouvons un indice intéressant, nous effectuons immédiatement des travaux de plus en plus détaillés jusqu'à ce que nous ayons une opinion définitive sur sa valeur. Ce faisant, nous suivons une voie "empirique" qui s'écarte notablement du schéma théorique où une phase de prospection détaillée ne doit pas commencer avant que la précédente, plus générale, ne soit achevée

Ainsi sur nos missions, se déroulent simultanément des travaux de stades différents. Nous croyons à la valeur de cette méthode apparemment moins logique, parce qu'elle est plus souple, qu'elle nous permet de mieux adapter nos programmes (au fur et à mesure des travaux) à la réalité naturaliste qu'ils révèlent. Chaque stade de reconnaissance, que ce soit la prospection aérienne, le plan-compteur ou des sondages, apporte des renseignements complémentaires qui finissent par former un tout.

Au Hoggar, la prospection aérienne de reconnaissance a donné d'abord des anomalies à Elbéma et à Furon (cf carte). Tout en la continuant, nous avons immédiatement entrepris sur ces points des travaux de plus en plus détaillés :

- géologie au 1/10.000ème, plans-compteur, fouilles à "Furon"
- géologie au 1/10.000ème, plans-compteur, fouilles, sondage et petit travail minier à Elbéma.

Ces travaux n'ont pas abouti à la découverte de gisements importants, mais ils ont enrichi de façon décisive nos connaissances sur la région au point de servir de base à l'orientation ultérieure des prospections.

- 2) L'organisation actuelle de la mission du Hoggar est la suivante :
 - a) A Tamanrasset existe une "base". Une mission de prospection en pays lointain a toujours besoin d'une base; si son programme ne prévoit pas une longue durée, la base sera légère et démontable, mais elle restera nécessaire

Nous possédons ainsi un vaste hangar métallique démontable et plusieurs baraques légères. Le personnel séjourne dans des habitations locales louées. Un émetteur de 400 W. permet des liaisons radio quotidiennes avec Alger et avec les différents groupes de la mission, qui possèdent des émetteurs-récepteurs autonomes de 50 W. La base est la résidence du Chef de Mission, ainsi que l'agent administratif; le mécanicien y dispose d'un atelier bien équipé, et le radiotechnicien d'un laboratoire d'entretien et de dépannage du matériel de radioprospection. Un médecin surveille l'ensemble du personnel de la mission, européen et autochtone; il dispose à Tamanrasset d'un hôpital moyennement équipé et peut se déplacer sur les groupes grâce à l'avion de liaison.

- b) Les prospections de la mission sont exécutées par ses différents groupes. Il y a d'abord un groupe de prospection aérienne générale systématique qui a été jusqu'ici confié à une entreprise privée. Il comprend une quinzaine de personnes, deux avions et un camion. Il est basé sur un aérodrome proche de la zone à prospecter. Des terrains de secours peuvent très facilement être établis au Sahara, où les surfaces planes de sable dur sont fréquentes.

La prospection aérienne détaillée est confiée au Groupe de Prospection Aérienne du C.E.A. qui comprend 1 ingénieur-géologue, 2 prospecteurs, 1 radiotechnicien, 1 mécanicien et 2 pilotes; les avions sont au nombre de 3 : 2 Cessna 180 et 1 Super-Cub Piper. Ce groupe dispose de 2 voitures et se base aussi sur un aérodrome voisin de la région à étudier en détail.

Le groupe "hélicoptères" utilise des appareils loués à une société spécialisée, ses pilotes et ses mécaniciens. En plus de ces derniers, le groupe comprend deux ingénieurs géologues et un prospecteur. Une telle unité peut pratiquement s'installer n'importe où.

Les groupes de terrain comprennent en principe un ingénieur géologue, chef de groupe, et deux ou trois prospecteurs; ils disposent de deux ou trois véhicules tous terrains, et se basent au voisinage immédiat de leurs secteurs de travail, compte-tenu de l'emplacement des points d'eau.

Les travaux fixes, tels que plans-compteur, sondages ou petit travail minier sont confiés à des groupes organisés en fonction du travail à réaliser; leur organisation propre ne diffère guère de leurs équivalents métropolitains, sauf que les services annexes (ateliers, magasins de chantier, etc..) sont plus développés.

Tous ces groupes disposent d'un équipement spécialement étudié par les constructeurs français. tentes, mobilier de camp, matériel de cuisine, groupes électrogènes et frigidaires, petits postes émetteurs-récepteurs 20 W. de liaison donnant entière satisfaction.

- 3) Le problème essentiel posé par le fonctionnement de cet ensemble est celui des liaisons et des approvisionnements. Il existe deux avions par semaine entre Alger et Tamanrasset, qui apportent pratiquement tous les vivres et la plus grande partie des matières consommables.

La mission dispose d'un parc automobile de 17 véhicules comprenant des camions 5 tonnes à deux ponts, des camions légers deux tonnes à 2 ponts des véhicules de liaison tout-terrain du type pick-up, jeep au 2 CV Citroën. L'entretien de ce parc pose de gros problèmes à cause du service très dur imposé au matériel et aux lenteurs de l'approvisionnement en pièces.

Tous les véhicules sont dotés d'équipements spéciaux pour le désert ; pneumatiques spéciaux, réservoirs supplémentaires d'essence et d'eau, filtres spéciaux, accessoires divers etc...

En outre un avion léger, type Broussard, basé à Tamanrasset permet la distribution hebdomadaire des vivres frais sur les groupes et les transports de personnel.

Le problème de l'alimentation en eau reste l'un des plus difficiles ; nous utilisons des camions citernes spéciaux de 3 000 l. tout-terrain, et équipés d'un matériel de pompage profond autonome. Ces camions peuvent prendre de l'eau dans la plupart des puits sahariens et la transporter aux camps. Dans certains cas, nous avons dû ainsi amener l'eau de 120 kms avec un prix de revient de l'ordre de 30 Fr le litre.

La mission du Hoggar rassemble des moyens fonctionnant maintenant de façon satisfaisante ; elle est adaptée au désert. Le personnel du Commissariat qui y a été affecté s'est lui aussi remarquablement adapté aux conditions moralement pénibles du milieu ; il reste à le stabiliser pour garder un noyau de vétérans qui formeront les équipes nouvelles.

- 4) Les travaux effectués de 1954 au 1er Janvier 1957 au Hoggar peuvent être chiffrés comme suit :

- Prospection aérienne générale : 99.800 km² couverts à la maille kilométrique avec un rendement moyen de 70 kms utiles à l'heure de vol et au prix global d'environ 2.000 Fr le km²
- Prospection aérienne détaillée : 5.700 km² en 295 h ; de vol tout compris, au prix approximatif de 50.000 Fr. de l'heure. Un super-cub peut couvrir une surface d'environ 4.000 km² par mois
- Prospection par hélicoptère : 3.615 km² en 360 h. de vol au prix de 100.000 Fr l'heure. Un appareil peut prospecter 1.000 km² par mois

- Itinéraire de reconnaissance : 10.000 Km
- Prospection générale au sol : 5.150 km², au prix approximatif de 15.000 Fr au km². Un groupe composé de 1 géologue, 2 prospecteurs, 1 mécanicien, couvre environ 200 km² par mois.
- Prospection autoportée : 600 kms
- Prospection détaillée au sol : 56 km²
- Plan-compteur : 12 ha
- Sondages : 2.227 mètres, au prix moyen de 15.000Fr le mètre.
- Puits et galerie : 75 m
- Dépenses totales : en 1954 - 55 : 36 millions
1955 - 56 : 79 "
1956 - 57 : 299 "
1957 - 58 : 267 "

B Exemple d'exploration générale en forêt équatoriale - La Guyane Française - (5) (Carte n° 2).

1) Choix des zones favorables

En Guyane ce choix a été basé sur l'existence d'une véritable carte géologique au 1/200.000ème et d'indices radioactifs dans la série du Paramaka (découverts dès Octobre 1956), sur des analogies géologiques avec d'autres districts uranifères et aussi sur quelques considérations théoriques.

Dans ce choix, nous avons bénéficié des travaux de B.Choubert (20) et de ses collaborateurs et de l'expérience du Service géologique du Bureau Minier Guyanais.

Les formations suivantes ont été retenues :

1° La série du Paramaka, qui forme une "ceinture" de schistes métamorphiques associés à des laves également modifiées autour d'un vieux socle partiellement granitisé. Cette ceinture est aurifère et présente plusieurs anomalies radioactives.

Le choix de cette série met en cause, dans un cadre géologique nouveau et assez différent de celui des conglomérats anciens uranifères et aurifères de Blind-River, du Witwatersrand et de Sierra Jacobina l'important problème de géologie appliquée sur les relations entre l'or et les minéraux d'U et sur leur origin, - problème récemment évoqué par C.F DAVIDSON (25) (On peut penser, d'un point de vue théorique, que le front de granitisation a chassé devant lui l'or contenu dans les formations granitisées et, éventuellement l'U, sources des anomalies radioactives détectées dans le Paramaka).

2° Les conglomérats de base des séries de l'Orapu et du Bonidoro, souvent quartzeux et présentant des analogies avec les conglomérats anciens sus-nommés.

3° Des granites Caraïbes jeunes, post-tectoniques et dont les pegmatites contiennent ici et là des minéraux uranifères très accessoires.

Les granites précambriens (granites "guyanais" et granites "caraïbes anciens"), les migmatites et les schistes de l'Orapu ont généralement été éliminés.

Cependant nous pensons que trois zones limitées peuvent légitimement être prospectées:

- a) Quelques bordures de granites "guyanais" en contact avec la série du Paramaka, afin de les éliminer plus sûrement;
- b) Les schistes de l'Orapu et le Bonidoro dans le prolongement probable de l'important accident du "Sillon de KAW", dans une zone occupant le bassin des criques "Eau Claire" et "Couy", entre les cours inférieurs des fleuves Kourou et Sinnamary
-) Les grès du Bonidoro dans le synclinal large de 10 à 15 km qui traverse la Moyenne Mana entre Saut-Dalles et Saut-Chien.

Une fois les zones favorables déterminées, leur prospection préliminaire doit être faite en entier, sans omission. On doit se méfier des critères éliminatifs successifs qui pourraient être déduits de l'examen d'une Carte Géologique et qui auraient pour but de réduire les zones favorables à leur plus simple expression. Il y a certes plusieurs guides géologiques de la prospection, mais les lois de distribution des gisements sont encore trop peu connues. Une carte géologique est le résultat d'observations, d'interpolations et d'hypothèses. On en tire le maximum de fruits par une étroite collaboration avec les géologues ayant confectionné cette carte; eux seuls peuvent nous apporter quelques précisions utiles et une meilleure appréciation des hypothèses proposées.

2) Méthodes de prospection

Les zones favorables ainsi délimitées sont explorées préliminairement à la maille kilométrique. Les secteurs les plus intéressants sont ensuite prospectés à la maille de 250 m. Des prospections détaillées, mais généralement très limitées, sont faites autour des principaux indices, dès la phase d'exploration préliminaire, afin de mieux connaître ces indices et de pouvoir les classer plus correctement.

Nous décrirons ici la méthode de prospection à la maille kilométrique. La prospection à la maille de 250 m est analogue, mais évidemment plus lente, plus sûre et plus chère.

1° Prospection radiométrique et hydrogéochimique à maille serrée (c à d approximativement kilométrique) (carte n°6)

a) Description de la méthode

- Sur le terrain, on exécute quelques layons principaux de pénétration, généralement parallèles et espacés les uns des autres de 2 à 4 km, et à partir de ces layons, des recoupes transverses régulièrement distantes les unes des autres de 1 km. Tous ces layons sont passés soit au gammamètre SRAT-GMT I4, soit au Scintillator 111-B (en saison sèche seulement, cet appareil n'étant pas étanche).

Des prélèvements d'eaux et "d'alluvions" sont effectués dans toutes les rivières rencontrées, dont on note les principales caractéristiques pour avoir une idée du débit (*)

- Au laboratoire de fluorimétrie, installé dans un camp central, en plein forêt, pour une période de quelques mois on fait:

- le dosage de l'U dans les "sols" et "alluvions" (l'U est extrait par chromatographie ascendante sur bande de papier filtre).
- le dosage de l'U dans les eaux (par l'intermédiaire de colonnes de résine échangeuses d'ions).

b) Appréciation

- Cette prospection est assez rapide : une équipe avec 1 prospecteur, deux aides-techniques pour le fluorimètre et une quinzaine d'ouvriers peut, dans un mois, reconnaître une surface de 100 à 150 km² par :

- 150 à 200 km de layons radioprospectés ;
- 100 à 200 prélèvements d'eaux et d'alluvions. Normalement le fluorimètre peut analyser facilement ces prélèvements initiaux, ainsi que des prélèvements de contrôle.

- Cette méthode est assez sûre :

- d'abord le secteur prospecté est situé dans un cadre géologique connu, ce qui permet d'apprécier une anomalie radioactive ou géochimique dans son contexte naturel, - et ceci est un avantage énorme, car on peut rapidement éliminer de nombreuses anomalies sans intérêt.

(*) Nous pensons que dans une rivière dont la largeur excède 10 à 15 m la dilution d'une éventuelle anomalie forte (c.à.d. en Guyane de 1 ppb) située dans un tributaire en amont est généralement bien trop grande, pour qu'une trace de cette anomalie puisse y être décelée (au moins avec les méthodes de dosage actuelles, qui au mieux apprécient 0,1 p.p.b.)

- ensuite elle permet un bon dégrossissage radiométrique du secteur

- enfin la prospection géochimique ne porte que sur de petits cours d'eau, ce qui évite une trop grande dilution des anomalies.

Le prix de revient est raisonnable. Il se situe entre 15.000 et 20.000 Francs le Km² reconnu.

En fait, nous avons trouvé, en trois mois, par cette méthode, une vingtaine d'anomalies radioactives de 30 à 150 C/s AVP (2 à 10 mouvements-propres). L'une vient de conduire à une anomalie de 800 C/S (1 MR/H).

Cette méthode nous paraît convenable pour la prospection préliminaire.

D'après les premiers résultats, la radiométrie au sol reste la technique de base, même en forêt équatoriale. Cependant la prospection géochimique la complète, soit en fournissant des données permettant d'apprécier plus justement l'intérêt d'un indice radioactif, soit même en indiquant des zones à anomalies géochimiques paraissant justifier une prospection plus détaillée, bien qu'aucune anomalie radioactive n'y ait été décelée.

La prospection hydrogéochimique, encore à ses débuts, sera plus efficace quand la méthode de dosage de l'U dans les eaux sera plus sensible et plus sûre. L'U des sols et "alluvions" est actuellement dosé dans un laboratoire de brousse avec une approximation suffisante.

2° Prospections systématiques détaillées en surface (carte n°5)

Ces prospections ne sont entreprises que dans un secteur présentant des indices sérieux. La maille doit être aussi "serrée" qu'en France : c'est-à-dire d'abord des profils radiométriques espacés de 50 ou 25 m puis des plans-compteurs à la maille de 5 m autour des points trouvés.

Une prospection géochimique détaillée des eaux et des sols est faite en même temps. Des tranchées et éventuellement des sondages à main suivent.

Une telle prospection dans la forêt guyanaise est d'un coût élevé (au moins 10.000 Fr l'hectare prospecté).

Remarques : Il importe de souligner :

1° que les prospections à la maille kilométrique et à la maille de 250 m supposent l'existence de cartes topographiques au 1/50.000ème, obtenues à partir de la restitution de photographies aériennes, au moins autant que d'une carte géologique.

2° qu'il n'existe pas de pistes dans la forêt guyanaise et qu'il faut donc commencer la prospection en ouvrant des layons. Il est plus simple de les ouvrir à une maille régulière, qui permet d'ailleurs de situer les prélèvements avec plus d'exactitude.

3) Personnel

La Mission de prospection des minéraux radioactifs en Guyane est le résultat d'un accord syndical entre le Bureau Minier Guyanais et le Commissariat à l'Energie Atomique. Le Bureau Minier est le gérant du Syndicat. Nous bénéficions aussi de son infrastructure technique et de son expérience de la géologie et de la prospection en Guyane. Un ingénieur-chimiste du B M G est maintenant responsable de la qualité des analyses géochimiques, après avoir suivi un stage au C.E.A. en France.

Du personnel local a été formé en quelques mois à l'emploi des gammamètres, à l'échantillonnage des prélèvements d'eaux et de sols, et à leur analyse fluorimétrique. Leur travail est satisfaisant et permet un bon avancement des prospections.

L'effectif se répartit comme suit :

- 1 Ingénieur-géologue, Chef de Mission
- 3 Prospecteurs (2 du C.E.A., 1 du B.M.G.)
- 2 Aides-techniques créoles au laboratoire de géochimie de brousse formés à Cayenne
- 27 Ouvriers (sabreurs, boussoliers, porte-compteurs).

En outre, 1 dépanneur-radio, agent des P.T.T. ayant suivi un stage au C.E.A. en France, et dont la présence est indispensable à la bonne marche des appareils de prospection.

4) Matériel utilisé

L'appareil de radioprospection de base est le gammamètre à transistor SRAT-GMT I4. A l'usage il s'est révélé étanche et particulièrement bien adapté à la forêt équatoriale.

La mission dispose de 16 de ces gammamètres.

Chacune des 3 équipes en a 3 ou 4.

En outre, deux appareils sont prêtés à des équipes de prospection du B .M.G. et trois à des géologues de la Carte Géologique.

Deux Scintillators 111-B sont également utilisés, en saison sèche seulement car ils ne sont pas étanches. Ils sont plus sensibles et d'un temps de réponse plus court que les SRAT-GMT I4, mais coûtent trois fois plus chers que ceux-ci.

22 gammaphones CERE sont prêtés aux missions de prospection du B.M.G. et à des agents de l'I.F.A.T. allant en brousse

1 fluorimètre fonctionne en brousse, avec une des équipes de prospection.

1 fluorimètre est installé à Cayenne.

En outre chaque équipe de terrain (1 prospecteur et 8 hommes) dispose de :

2 canots

1 ou 2 moteurs Johnson hors-bord de 10 CV

L'équipe responsable du laboratoire de brousse a en plus deux groupes électrogènes de 2 KW, 1 de rechange et un de 5 KW.

5) Prix de revient

Le prix de revient total de la Mission ainsi composée et équipée a été de 52 millions de francs en 1957, qui se répartissent comme suit :

1° Personnel (Cadres - Ouvriers - Personnel en Mission)	60 %
2° Matériel : Entretien, location, amortissements-Fournitures diverses	25 %
3° Frais de gestion	15 %

Le prix de revient de la prospection à la maille kilométrique est de l'ordre de 20.000 francs le kilomètre-carré reconnu

(Au total, les 3 équipes prospectant normalement de 200 à 250 km² par mois).

Le prix de revient de la prospection à la maille de 250 m atteint 120.000 francs par km².

6) Validité des méthodes et résultats

Jusqu'ici aucun gisement de minerai uranifère et thorifère n'a été trouvé en Guyane. Toutefois, la validité de la méthode est prouvée parce qu'elle semble satisfaire à deux conditions divergentes :

a) être suffisamment rapide. Avec les effectifs modestes indiqués ci-dessous et par conséquent avec des dépenses raisonnables, de août 1956 à août 1958, soit deux ans, il aura été prospecté une superficie d'environ 3.000 km² dont plus de :

2.000 km² à la maille kilomètre
200 km² à la maille de 250 m
400 hectares à la prospection systématique
détaillée.

b) être suffisamment précise pour ne pas laisser ignorer des gisements uranifères ou thorifères dignes d'exploitation en Guyane, car de très faibles indices n'ont pas été manqués. Sans doute, ce fait ne constitue pas une preuve absolue mais donne quand même une confiance assez grande.

7) Problème du radon

En Guyane française, nos observations peuvent se résumer ainsi :

1° Les occurrences de radon, sont fréquentes vers la base des carapaces latéritiques qui recouvrent les schistes métamorphiques et les laves modifiées du Paramaka (montagne de Kaw). Elles se manifestent par des anomalies radioactives superficielles localisées à la tête de Thalwegs, aux points d'émergence de sources généralement saisonnières.

2° Jusqu'à maintenant, on ne connaît pas de telles anomalies radioactives sur d'autres formations altérées en surface et parfois tectonisées et fracturées, telles que des granites ou certaines parties des quartzites et conglomérats de l'Orapu, ou du moins elles y sont rares et faibles.

Ces anomalies paraissent donc assez caractéristiques du Paramaka.

3° Les anomalies de la Montagne de Kaw jalonnent sur plusieurs kilomètres (au moins 15) un important accident tectonique. Elles sont nombreuses et parfois très fortes : en 7 points on note de 1 à 3 MR/H.

En outre, des quantités faiblement anormales d'U et surtout de radium sont concentrés dans le sol végétal immédiatement en aval de ces sources. Si ces sols étaient en équilibre radioactif, leurs teneurs en U atteindraient 2 à 3 %. Nos études tendent à savoir si ce radium provient de la désintégration du radon - RaD d'une période de 22 ans, ou s'il lui est antérieur et provient directement du lessivage de corps uranifères.

Mais à la Montagne de Kaw, où nous ne connaissons pas de roches granitiques à proximité des anomalies (les quelques roches à peu près saines sont des schistes verts à amphibole et des quartzites mylonitisés) les dégagements de radon paraissent très importants. Peut-être sont-elles en relation avec des occurrences uranifères concentrées, comme cela semble être le cas à Nkana (Rhodésie).

L'intensité des venues de radon, ou certaines associations avec des éléments radioactifs constituent-elles des critères susceptibles de nous renseigner sur l'existence probable en profondeur d'une occurrence uranifère diffuse ou concentrée ? Telle est la question que nous cherchons à élucider.

C. Exemple d'étude d'un indice uranifère et de sa région en zone équatoriale (Mounana, District de Franceville, Gabon, A.E.F.). (6).

L'indice du gisement d'Uranium de Mounana a été découvert en Décembre 1956 par scintillométrie autoportée dans le cadre d'une mission de recherche opérant sur la bordure occidentale du bassin sédimentaire précambrien (séries intermédiaires) de Franceville. La série francevillienne montre la coupe schématique suivante

Francevillien supérieur . Grès fins, schistes noirs et argilites en petits bancs irréguliers et alternés.

Francevillien moyen : Grès moyens , à grain fin
ou
Jaspes ou Niveaux d'oxydes de manganèse exploitables.
Argilites bariolés ou schistes noirs.

Francevillien inférieur : Grès grossiers arkosiques
Conglomérats - grès conglomératiques avec petites intercalations microgréseuses ou argileuses.

Le gisement se situe dans des grès grossiers tectonisés en bordure d'un petit horst-boutonnière de socle cristallin

Déroulement des travaux, méthodes employées, résultats obtenus, moyens mis en oeuvre

1. Premiers travaux

La découverte a été faite en Décembre 1956 au cours d'une reconnaissance par scintillométrie autoportée. Mouvement propre de 0.015 MR/H - Anomalie en voiture de 0.10 MR/H - Anomalie au sol de 0.20 à 0.25 MR/H - Pas d'affleurement visible dans un rayon de plusieurs dizaines de mètres.

Une première colonne de prospection est mise en place fin Décembre 1956 avec pour mission immédiate l'exécution d'un plan-compteur à la maille de 5 m sur l'indice découvert, l'ouverture d'une tranchée sur le point maximum découvert, la recherche dans un rayon de 1 km d'autres indices analogues .

Cette première colonne mettait en évidence une tache radioactive (isorad 40 ch/sec AVP) de 60 x 40 m environ, avec maximum à 250 ch/sec. et quelques taches isolées extérieures. La tranchée ouverte montrait sous 1 m 80 de recouvrement argilo-sableux pratiquement stérile (teneur de l'ordre de 0.01 % U) une riche minéralisation en produits jaunes uranifères (Francevillite) dans des grès grossiers altérés.

Deux autres colonnes étaient mises en place début Janvier 1957 avec pour mission d'effectuer :

- un lever géologique et une radioprospection détaillée au 1/5.000 dans un rayon de 3 à 4 km, au Gammamètre GMT I4 et au Scintillomètre 111 B. L'absence de photographies aériennes sur cette région ne facilitait pas les choses.

- une campagne de géochimie des eaux et des alluvions à la même échelle, à la maille de 200 à 500 m environ.

- un plan de géochimie des sols superposés au plan-compteur (1/500).

- une campagne de forage à petite profondeur (4m) à la tarière à main, de manière à percer le recouvrement argilo-sableux et à atteindre la roche en place et éventuellement la minéralisation sans polluer chimiquement les sols et les eaux.

- le fonçage d'un puits de recherche de 20 m de profondeur à l'emplacement de la première tranchée.

Les résultats de ce premier stade ont été les suivants :

a- Travaux au 1/5.000 (20 km²)

Radioprospection : découvertes d'autres indices radioactifs, uranifères, sans minéralisation visible à ce stade. (Plan n°12).

Géochimie : mise en évidence d'une zone de quelques km² avec d'assez fortes anomalies hydrogéochimiques (M.P de 1 p.p.m. , anomalies jusqu'à 20 p.p.m.). (Plan n° 10).

Géologie : établissement d'une carte géologique sommaire permettant de comprendre la région (une cinquantaine d'affleurements pour 20 km²...).

b- Travaux sur l'indice

L'extension des plans-compteurs montre d'assez nombreuses anomalies isolées et faibles.

La géochimie des sols montre des taches recouvrant à peu près les taches radioactives du plan-compteur.

La campagne à la tarière localise la minéralisation sous le recouvrement; celui-ci dépassant fréquemment 4 m, la zone minéralisée ou susceptible de l'être n'a pu être toujours atteinte

Le puits descendu jusqu'à 20 m restait dans un grès altéré, fortement minéralisé en Francevillite, parcouru de fractures argileuses.

Moyens mis en oeuvre au cours du premier stade
(21 Décembre 1957 - 15 Avril 1958)

Personnel : 1 géologue

3 prospecteurs dont 1 pour le 1/5.000

1 pour les travaux divers
sur l'indice

1 pour le fonçage du puits

11 aides-prospecteurs Africains

Matériel technique : 3 scintillomètres Marque PRI.

Type 111 B

6 gammamètres G.M Marque SRAT.

Type GMT I4

4 tarières de 4 m

3 nécessaires de géochimie (prélèvements et préparation des échantillons).

Matériel de liaison : 2 postes émetteurs-récepteurs ANGRG 9

Véhicules :
1 jeep Land Rover
1 pick-up Land Rover
1 camion 5 T. 2 ponts Mercedes

Matériel de campement : Type léger pour itinérance

2) Deuxième stade des travaux d'étude

Ce stade a débuté en début Mars 1957 et s'est poursuivi jusqu'à fin 1957.

Il a comporté :

- a) La continuation des travaux au 1/5.000, synthétisés au 1/25.000, sur une surface de 200 km² environ, en topographie, géologie, radiométrie, géochimie, par 2 à 3 colonnes composées chacune de 1 prospecteur Européen, 3 aides-prospecteurs Africains et 25 manoeuvres (150 km²).
- b) L'extension des travaux à grande échelle (plan-compteur au 1/500 - géochimie des sols - fouilles - tarière), sur les indices nouveaux reconnus.
- c) Des sondages diamant commencés en Avril 1957 (sondeuse Craelius X F) implantés systématiquement sur un quadrillage de 10 m verticaux.
- d) Une campagne de géophysique (résistivité, potentiels et sondages électriques) sur les indices principaux ou, ailleurs, à des fins géologiques et structurales (échelle 1/2.500). (Plan n°11).
- e) Une campagne de prospection aérienne ayant amené à l'établissement d'un "plan-compteur" aérien, effectué par vols NS et EW espacés de 250 m environ. Cette campagne a été effectuée avec un Super Cub P A 18 150 CV, équipé d'un scintillomètre Mark VI avec enregistreur (120 km² environ). (Juillet-Août 1957). (Plan n°8).

L'ensemble du deuxième stade a duré jusqu'à fin 1957 et se poursuit en 1958, concurremment avec un 3ème stade, plus proprement minier.

Les résultats obtenus au cours du deuxième stade sont les suivants :

- Etablissement au 1/25.000 des cartes géologiques, radiométriques au sol, radiométriques aériennes, géochimiques eaux et alluvions. (Plans n° 7 - 8 - 9).
- Définition à cette échelle d'indices et de zones d'intérêt, partiellement reprises à plus grande échelle par les autres travaux.

- Précision de la valeur économique du gisement, de ses prolongations éventuelles et de la possibilité d'existence de gisements du même type.

Moyens mis en oeuvre - au cours du deuxième stade
(15 Avril au 31 décembre 1957)
(compte non tenu du personnel et du matériel d'exploitation
qui a commencé à arriver en octobre 1957.).-

Personnel : 2 géologues, dont 1 chef de groupe, chargé
plus spécialement des travaux au 1/5000
et de la coordination et 1 chargé des
travaux de détail.

Prospecteurs : 6 en moyenne, dont :

1 géochimiste

1 géophysicien

1 chargé de l'étude des sondages

2 chargés des levés au 1/5000 et des
travaux de détail sur les indices (radio-
métrie, tranchées, tarière etc...)

1 chargé de la prospection aérienne.

Sondeurs diamant : 2

Mécanicien : 1

Aides-prospecteurs Africains : 15

Matériel technique :

6 scintillogrammes 111 B PRI

12 gammamètres GMT 14 - SRAT

6 tarières de 4 m

1 sondeuse Craelius X F

1 compresseur CBS 30 LV SPIROS

1 ensemble de prospection électrique (quad-
ripole) pour résistivité et potentiels

1 avion PIPER 150 CV équipé d'un scintil-
logramme Mark VI avec enregistreur Ester-
line Angus.

Matériel de liaison :

2 émetteurs-récepteurs AN GRC 9

Véhicules : 1 jeep Land Rover

2 pick-up Land Rover

1 4 X FARGO

2 camions Mercedes 5 T. 2 ponts

Campement : matériel léger et construction en matériaux
locaux.-

3) Rendement et prix de revient - (tableau ci-dessous).

ETUDE DE L'INDICE URANIFERE DE MOUNANA, District de Franceville, GABON (A E F)
Rendements et prix de revient

Désignation des méthodes et des travaux	Rendements	Prix de Revient par unités
(Fr.C.F.A.)		
I-PROSPECTION SYSTEMATIQUE (1/25.000)		
A-Prospection effectuée au 1/5.000, résultats condensés au 1/25.000, comportant:	10km2/colonne/mois	
a) lever topographique pas-boussole, altimètre	(1 équipe = 1 P.E. + 3 à	
b) lever géologique d'affleurements	4 A.P.)	Km2=122.402
c) radiométrie au sol (Geiger ou scintillomètre)		
d) géochimie des sols, eaux et alluvions.		
La maille moyenne est de l'ordre de 200 à 300m.		
B-Prospection aérienne scintillométrique (1/25.000). Profils orthogonaux - maille carrée de 300 mètres.	6km2 par heure de vol, y compris les mises en place et vols d'essais	Km2= 3.023
II-PROSPECTION DETAILLEE (1/500 à 1/2.500)		
A-Plan-compteur 1/500 - maille carrée de 5m	25 ha/mois pour une équipe de 1 P.E. et 6 A.P.	ha = 13.638
B-Plan géochimie des sols (1/500 ou 1/2.000 maille carrée de 20 mètres)	40 ha/mois pour une équipe de 1/2 P.E. et 2 A.P.	ha = 6.339
C-Plan géophysique (résistivité et potentiel au 1/2.000)	32 ha/mois pour une équipe de 1/2 P.E. et 2 A.P.	ha = 8.606
D-Puits de recherche	Puits exécuté sans moyens mécaniques en deux mois	m = 14.210
E-Forages à la tarière de 4 mètres	1 équipe de 2 tarières fait 300m/mois avec 1/4 de P.E. et 1 A.P. et 8 M	m = 277
F-Sondages Diamant - Craelius X F	77m par poste/mois - 1 sondeur Européen, 2 M 1 A P	m = 4 233

P E = Prospecteur Européen - A P = Aide-prospecteur Africain - M = Manoeuvre Africain

Considérations sur les méthodes utilisées et leurs résultats -

La découverte, puis l'étude, de l'indice de Mounana et de la région environnante se heurtait à certaines des difficultés énumérées plus haut, dues aux conditions forestières.

Les 2/3 de la région étudiée étaient situés en zone forestière.

Néanmoins, une part importante des difficultés propres aux régions forestières nous étaient évitée : l'indice principal était situé sur une piste automobilisable; les problèmes de ravitaillement, de main d'oeuvre, et d'accès ne se posaient que peu.

Les difficultés géologiques, elles, au contraire, étaient totales.

Les affleurements étaient rares, masqués par un recouvrement argilo-sableux jaune-rouge équatorial. Ce recouvrement d'épaisseur variable, 1m50 à 5 et 6m, s'étendait sur la majorité de la région entourant le gisement. Localement, dans cette région, existait un recouvrement de cuirasse latéritique brun rouge pisolitique et ferrugineux. Par endroits, des blocs d'aspect scoriacé, isolés, montraient qu'une cuirasse latéritique ferrugineuse, maintenant disloquée et résiduelle, avait dû exister antérieurement sur les argilo-sables ou sur la cuirasse latéritique. Des indices "allochtones" étaient fréquents dans les lits des petits cours d'eau, où des enduits d'oxydes de fer et de manganèse sur des blocs rocheux montraient fréquemment une certaine radioactivité due à de l'Uranium adsorbé.

Les indices radioactifs en surface étaient faibles, en valeur et en dimension, soit par la suite de l'épaisseur du recouvrement, soit par suite de l'intensité du lessivage des minéralisations uranifères en surface. Les indices radioactifs trouvés étaient dus soit à l'existence d'une très faible minéralisation uranifère dans le recouvrement (0,1% U), soit à des adsorptions dans des argiles de bas-fonds, soit à des fixations dans des blocs de cuirasse latéritique scoriacée et ferrugineuse.

Les difficultés étaient donc grandes, et seul l'emploi de toutes les méthodes citées plus haut ont permis d'élucider, partiellement d'ailleurs, les problèmes posés par la prospection du gisement de Mounana, des points annexes et de la région.

On peut classer les résultats acquis en catégories :

1)- Dans le cadre de la découverte :

a.- Les résultats positifs absolus, ou l'une ou l'autre méthode ont amené la découverte d'uranium.

Ils sont dus essentiellement à la radiométrie terrestre (indices de Guiblin- Okéléonéné - Massengo)

les autres méthodes n'ont pas jusqu'ici permis ce genre de découverte.

- b.- Les résultats favorables, où une méthode, ou seule ou combinée à d'autres a permis d'espérer avec un certain degré de certitude l'existence d'indices ou de gîtes qui restent à trouver dans une aire relativement réduite.

Par exemple : Combinaison des résultats géologiques (présence d'une faille et de grès grossiers), scintillométriques aériens (existence d'une zone anormale très nette), hydrogéochimiques (existence de points à forte teneur entourant l'endroit).

Bien que les autres méthodes n'aient pas encore fourni de résultats positifs, il n'en reste pas moins que l'aire considérée (Djiba) mérite un intérêt certain.

Autre exemple : la radiométrie terrestre et la géochimie donnent une aire d'anomalie très localisée. Une tranchée confirme l'existence sous le recouvrement de faibles teneurs en U dans des grès tectonisés au voisinage de ce qui semble être une faille. La campagne de résistivité faite ensuite montre une anomalie résistante franche et localisée dans une plage conductrice, anomalie située juste sur l'axe de la faille supposée.

- c.- Des résultats généraux, obtenus sans aucune précision à l'échelle de plusieurs km², mais indiquant l'existence d'une région favorable (cette région renfermant par ailleurs les indices ci-dessus).

Exemple : la géochimie montre une constellation de points forts, large de 2 à 3 km, longue de 5 à 6 km sur l'axe Massengo-Omoï.

La radiométrie aérienne marque très nettement cette même zone entre le plateau gréseux et la boutonnière de socle, tous deux à très faibles mouvements propres.

La géologie montre que cette zone correspond : de l'Est à l'Ouest, à la faille séparant la boutonnière de socle du sédimentaire, à la zone des grès grossiers inférieurs tectonisés contenant les indices connus, aux schistes noirs à fort mouvement propre et aux argilites.

De tels résultats permettent donc, à l'intérieur des surfaces à étudier d'éliminer des zones et au contraire de pousser les investigations de détail sur les régions les plus favorables.

En reprenant l'exemple du plan-compteur aérien, on voit qu'il montre à l'Ouest une zone fortement active avec de très fortes anomalies. La comparaison avec la

radiométrie au sol, la géologie et la géochimie permet pour l'instant d'éliminer cette zone où existent des conglomérats thorifères radioactifs, dont les plans de stratification correspondent en gros avec la surface topographique, et où la géochimie n'a jamais identifié d'anomalies en U.

On voit ainsi de quelle manière, par extrapolation, peut être fait l'exploitation simultanée des résultats des différentes méthodes, appliquées à des extensions de la prospection.

La valeur de l'emploi de ces méthodes est conditionnée par l'application de chacune d'entre elles, puis, les résultats bruts étant obtenus, par la comparaison 2 à 2, 3 à 3, de ceux-ci, par une étude critique de chacun de leurs aspects en fonction des autres résultats sur un même point ou une même aire.

2) - Dans le cadre de l'étude d'un indice découvert -

Les buts changent, la maille est resserrée, mais les méthodes et la manière d'en exploiter les résultats ne changent pas

- a.- Les résultats positifs absolus, identiques à 1) a.-, tels que découverte d'un point minéralisé par plan-compteur ou tranchée, percement par un forage d'une formation minéralisée, etc...
- b.- Les résultats favorables, où les méthodes combinées permettent d'espérer l'existence dans une aire très réduite d'un indice très sérieux ou d'un gisement.

Par exemple : Cas d'un point situé dans une région favorable, sur lequel a été relevée une faible anomalie radiométrique, où les résultats géochimiques dépassent un peu le mouvement propre, où le géophysique marque une anomalie. La solution appartient alors au sondage implanté en fonction des résultats géométriques obtenus.

Conclusion -

L'exemple sommairement traité de l'étude du gisement de la région de Mounana montre qu'une méthode de prospection employée seule ne peut permettre, sinon la découverte d'un indice, du moins son étude et la recherche de ses extensions.

L'emploi conjugué de toutes les méthodes directes ou indirectes est indispensable. C'est cette utilisation de tout l'arsenal mis à notre disposition qui a permis en un an de passer du stade de la découverte de l'indice au stade de la reconnaissance minière d'un gisement et de la prospection extensive autour de l'indice primitif, malgré les difficultés opposées par la nature équatoriale.

BIBLIOGRAPHIE

I RAPPORTS INEDITS C.E.A.- D.R.E.M. -

- (1) J. BERNAZEAUD Etude en vue d'une reprise des
prospections extensives pour U en
pays équatoriaux et tropicaux 1953
- (2) H. BIDAUT, T. DURAND Mission des Alpes Maritimes - Var.
Rapports de prospection hélicoptérée
du massif de l'Argentera - Mercan-
tour - Mai/Juin 1957.
- (3) G. BIGOTTE,
P. THERENE Groupement des Recherches en Afri-
que - Rapport annuel 1956/1957
- (4) P. DELQUIE Rapport de fin de mission au Hog-
gar - 1957.
- (5) J. HINAULT Rapport annuel de la mission d
recherches en Guyane du Syndicat
Beau Minier Guyanais - Commissariat
à l'Energie Atomique.
- (6) J. R. LECONTE Le gisement uranifère de Mounana -
1957.
- (7) J. J. LECOQ Etudes sur les perspectives d'une
prospection saharienne par le
C.E.A. - 1953.
- (8) M. MOREAU Mission de Madagascar - Rapport an-
nuel 1955.
- (9) C. SCEMAMA Rapports de mission dans l'Adrar
des Iforas 1954/1956.

II. ACTES DE LA SECONDE CONFERENCE INTERNATIONALE SUR L'UTILISATION
PACIFIQUE DE L'ENERGIE ATOMIQUE - GENEVE 1958.

- (10) J. BERREZIER, B. BLANGY, C. LALLEMANT - Méthodes de prospection
autoportée et aéroportée. La technique de la détection des
rayonnements, les perspectives offertes par la discrimina-
tion des énergies - Communication P/1249.
- (10bis) A. CARLIER - Le gisement de schistes uranifères de Saint
Hippolyte (Haut-Rhin). Exemple d'étude par calculs statisti-
ques. Communication P/1242.
- (11) A. GANGLOFF, C. COLLIN, A. GRIMBERT, H. SANSELME - Applications
à la recherche de l'uranium des méthodes géophysiques et géo-
chimiques - Communication P/1244.

- (12) A. LENOBLE, A. GANGLOFF - Etat actuel des recherches d'uranium et de thorium dans l'Union Française- Communication P/1240.

III - PUBLICATIONS

- (13) M. ALLAIS - Schéma probabiliste pour les prévisions dans le Sahara - Congrès du centenaire de la Société de l'Industrie minière - Paris, Juin 1955.
- (14) E. AUBERT de la RUE - La Guyane Française - La Nature N° 3198 - Paris, Octobre et Novembre 1951.
- (15) A. AUBREVILLE - La forêt coloniale - Les forêts de l'A.O.F. - Ann. Acad. des Sciences Coloniales, t.IX. Société d'Editions Géographiques, Maritimes et Coloniales, Paris 1938.
- (16) J. BERBEZIER, P. FABRE - Le matériel radio-électrique dans la recherche des minerais radioactifs. Revue générale d'Electricité - Paris, Août 1956.
- (17) F. BLONDEL - Les caractères géologiques des vieilles plates-formes - Société d'Editions Géographiques, Maritimes et Coloniales, Paris 1936.
- (18) F. BLONDEL - Les lois statistiques de la répartition géographique des productions minières - Congrès du Centenaire de la Société de l'Industrie Minière, Paris 1955.
- (19) R. CAPOT-REY - Le Sahara Français - Presses Universitaires de France - Paris, 1933.
- (20) B. CHOUBERT - Essai sur la morphologie de la Guyane Française. Mémoires de la Société Géologique de France (Collection Guyane), Paris (sous presse).
- (21) B. CHOUBERT - Géologie et pétrographie de la Guyane Française - Publication de l'office de la recherche Scientifique de la France d'outre-mer, Paris 1949.
- (22) R. COULOMB - Prospection géochimique en Guyane, Bulletin d'informations scientifiques et techniques du C.E.A. n°6 - 1957 - Paris.
- (23) R. COULOMB, M. GOLDSTEIN - Prospection et recherche de l'uranium - La prospection géochimique. Congrès du Centenaire de l'Industrie Minière, Paris Juin 1955
- (24) C.F. DAVIDSON - The geochemical approach to prospecting for minerals, Mining Magazine XCVII - 1 - London July 1957.

- (25) C.F. DAVIDSON - On the occurrence of Uranium in ancient conglomerates Economic Geology, Sept. Oct. 1957. Vol.52 N° 6 - Lancaster, Pa.
- (26) C.F.DAVIDSON et S.H.V.BOXIE - Methods of Prospecting for uranium and thorium - Conférence Internationale pour les utilisations pacifiques de l'Energie Atomique. 8/P/1764 - Genève 1955.
- (27) P.ESKOLA - The mineral facies of rocks - Norsk.Geol.Tidskrift.
- (28) A.LOMBARD - Géologie sédimentaire ; les séries marines Masson - Paris 1956.
- (29) H.RADIER - Contribution à l'étude géologique du Soudan Oriental (A.O.F.) - Thèse Strasbourg 1957.
- (30) J.TROCHAIN - Nomenclature et classification des types de végétation en Afrique Noire Occidentale et Centrale. Rec.Inst.Bot.Montpellier fasc. 2 - 1946.

CARTES ET PLANS

- N° 1 Carte générale de l'Afrique.
- " 2 Zones prospectées en Guyane française.
- " 3 Photogéologie Hoggar.
- " 4 Surfaces prospectées Hoggar.
- " 5 Prospection des conglomérats de l'Orapu (Guyane Française)
- " 6 Prospection du bassin de l'Orapu supérieur (Guyane Française)
- " 7 Gisement de Mounana - 1/50.000 géologie.
- " 8 " " " " prospection aérienne.
- " 9 " " " " géochimie.
- " 10 " " " 1/5.000 géochimie.
- " 11 " " " " géophysique
- " 12 " " " " plan-compteur.
- " 13 Zones prospectées à Madagascar.

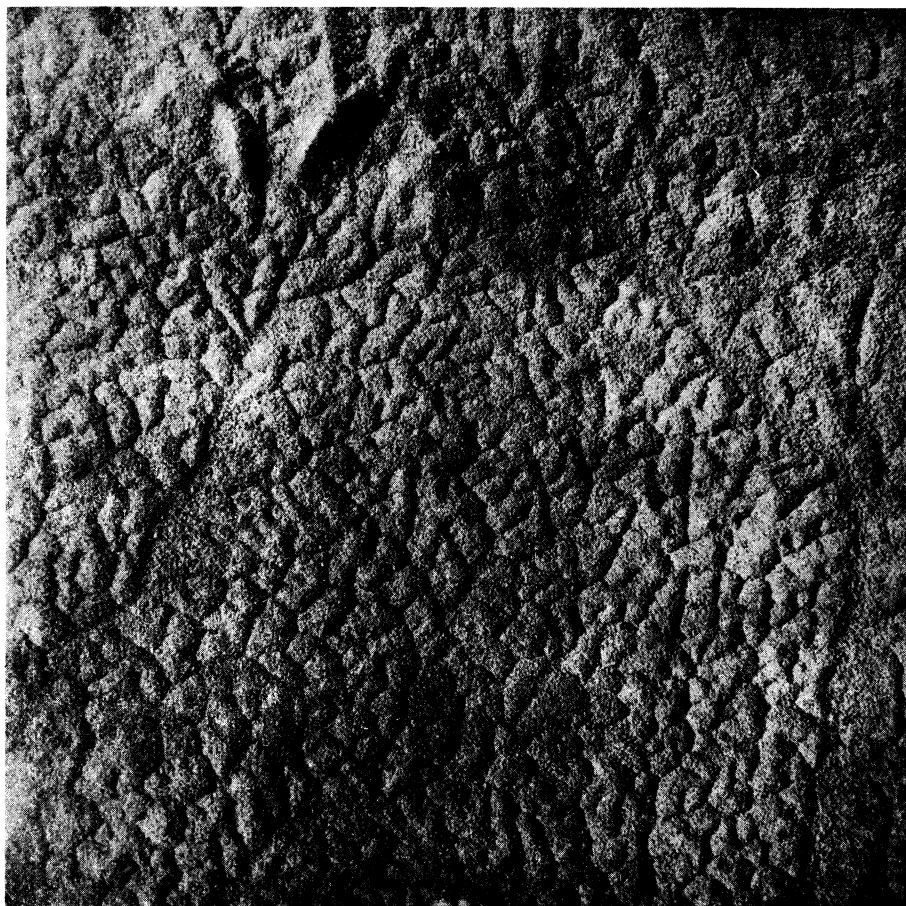


Photogéologie en Guyane. Région du Saut-Dalles (Mana).

Contact entre le Bonidoro et la série de l'Orapu (à l'extrême droite). On peut voir de droite à gauche, dans le Bonidoro :

- 1) à la base = Bonidoro grès-schisteux ;
- 2) une bande très nette, formant une crête, de conglomérats quartzeux ;
- 3) une succession de bancs de grès feldspathiques de dureté variable.

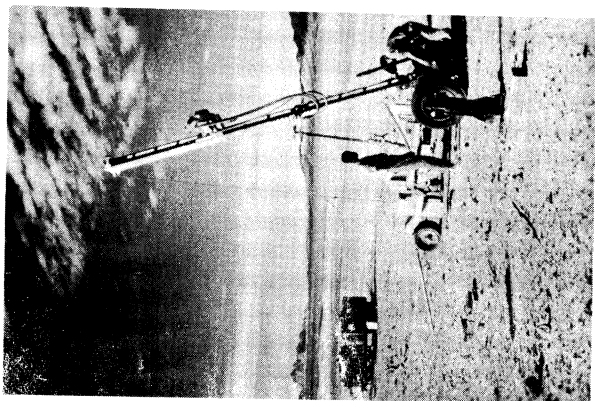
Photo I.G.N. Interprétation B.Choubert.



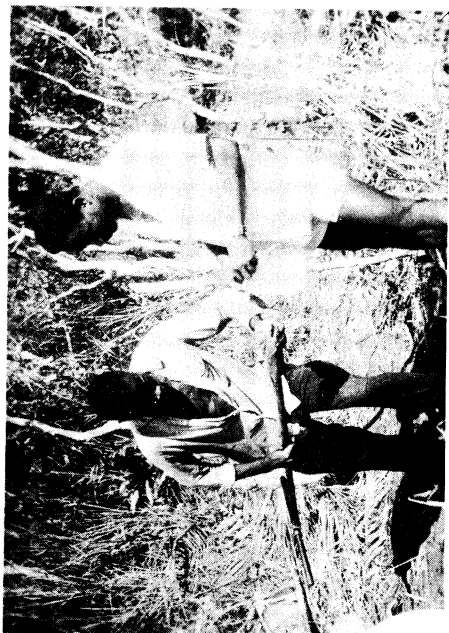
Photogéologie en Guyane. Bassin du Haut-Approuague.
On peut voir :

- 1) un granite "guyanais" au contact d'un granite
"caraïbe" (forts reliefs en haut et à gauche)
et avec des migmatites (en haut et à droite).
- 2) des failles bien nettes selon trois directions.

Photo I.G.N. - Interprétation B.Choubert



Sondages inclinés à sec au Sahara
Sondeuse à air comprimé Saut du
Tarn HS-Record - Photo G.Bigotte.



Prélèvement géochimique de sol
à la tarière - Mounana (Gabon).
Photo J.J.Lecoq



Prospecteurs au Hoggar (Sahara français)
Photo J.Hinault.



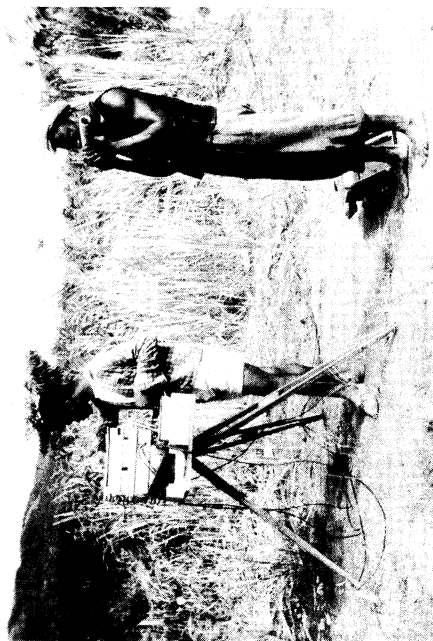
Liaisons radiophoniques au Sahara
Photo J J Lecoq



Radioprospection en Guyane. Compteur
G.M.T.I4 - S.R.A.T. - Photo J.Hinault.



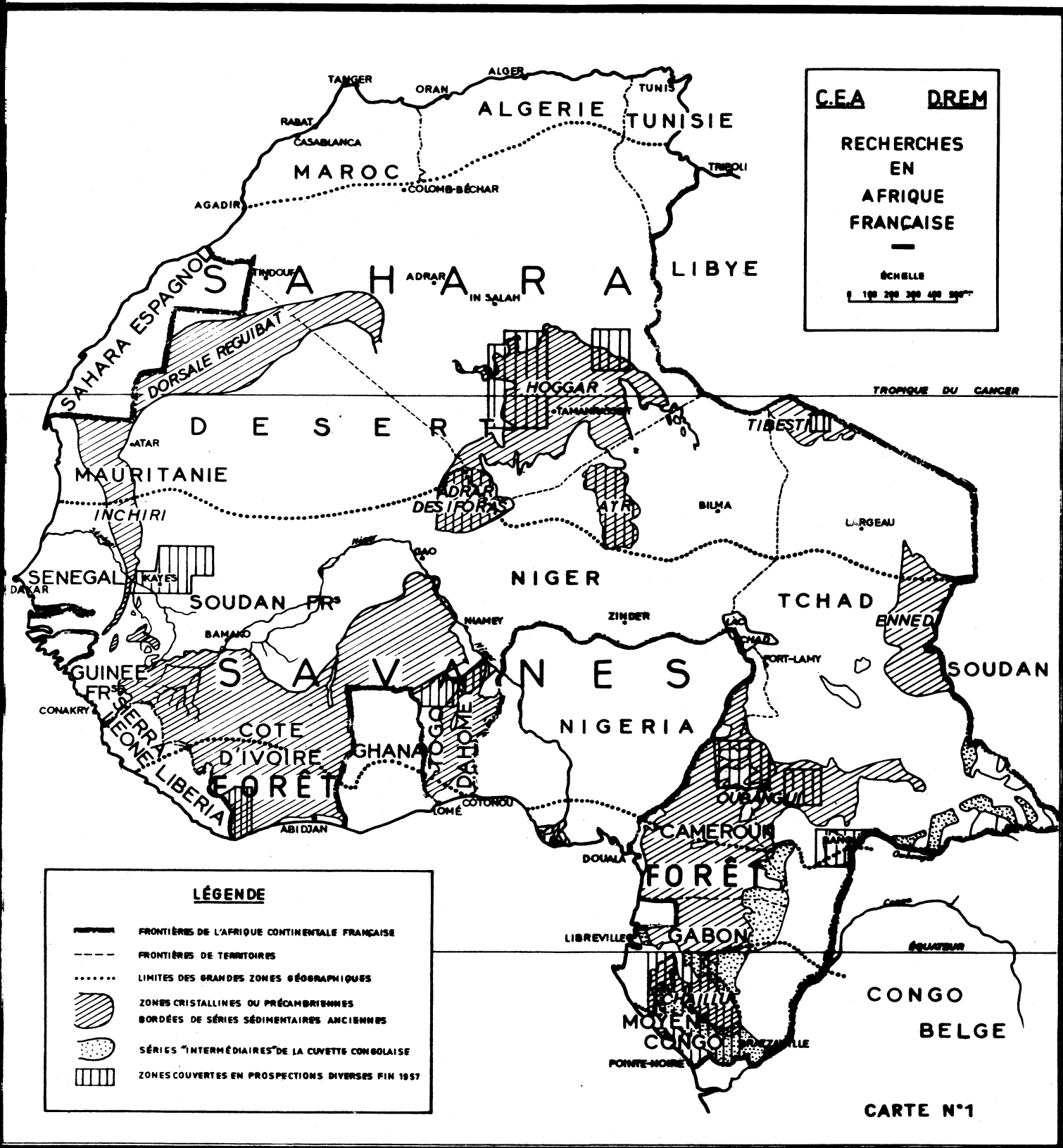
Prospection aérienne au Hoggar
Photo G.Bigotte



Prospection géoélectrique -
Mounana (Gabon). Photo G.Bigotte.



Radioprospection en forêt équatoriale d'Oubangui
Scintillomètre PRI-III-B Photo J Leconte.



32 30'



CARTE N°3

The map displays the geological structure of the Tamanrasset region. Key features include:

- Geological Units:** T1 (Tertiary), T2 (Tertiary), S1 (Senonian), S2 (Senonian), and d1 (diorite).
- Topographic Features:** Fort-Polignac, Fort-Gardel, Amguid, Tesnou, Elberna, In Ezou, In Amguid, In Ouzal, Furor, and Inzize.
- Geological Structures:** Several areas are highlighted with hatching, indicating specific geological formations or faults.
- Grid System:** The map is overlaid with a grid of latitude and longitude coordinates, ranging from 3° to 9° longitude and 20° to 27° latitude.

ECHELLE

S1	Cambro Ordovicien	T2	Granite Pharusien
S2	Gothlandien	λ2	Basalte
d1	Devonien	X1	Suggarien
T1	Granite suggarien	X2	Pharusien

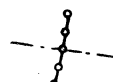
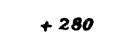
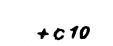
ECHELLE 0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200

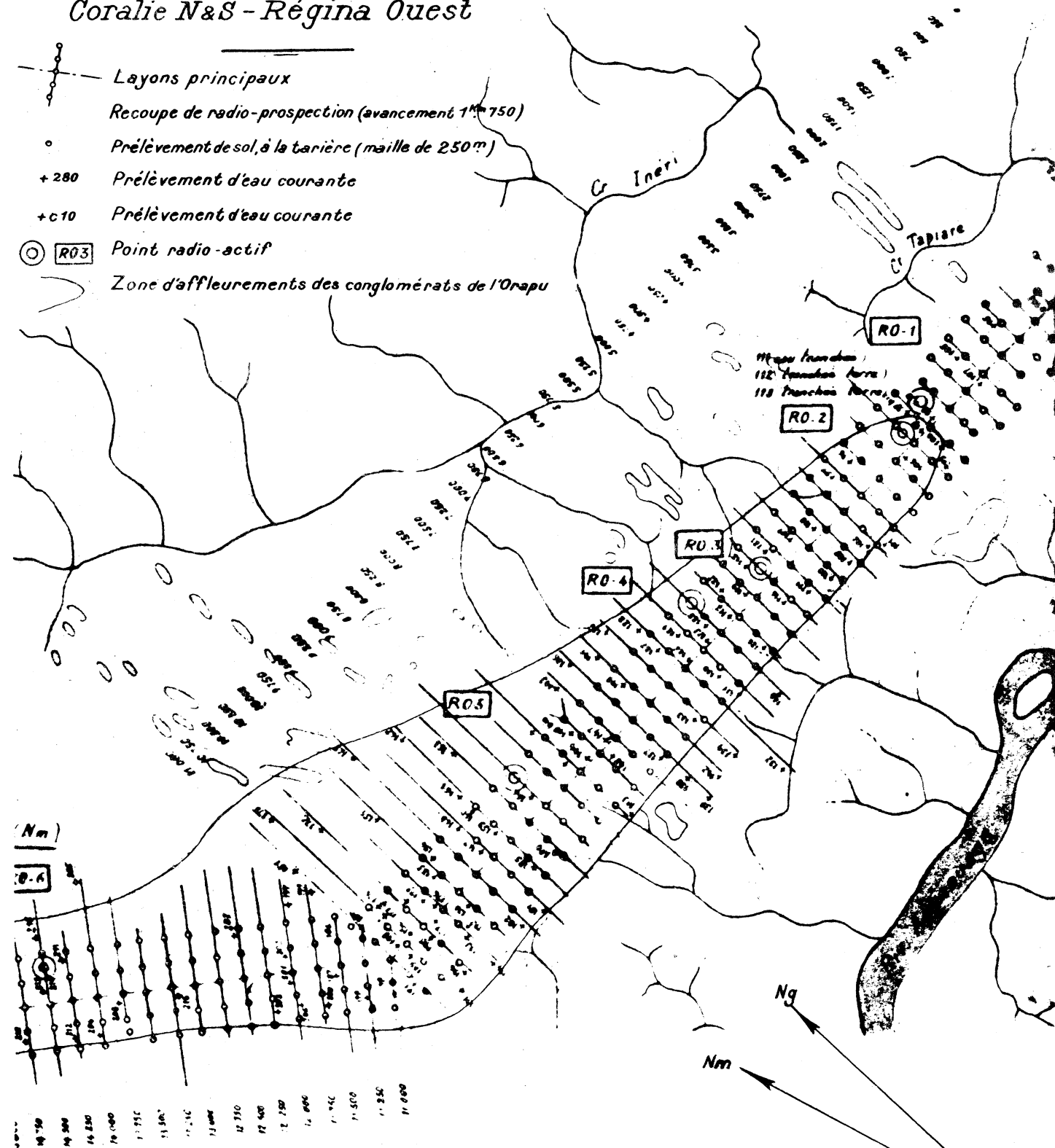
— Limite des prospections aériennes générales
▨ Zones prospectées en hélicoptère
--- Pistes

CARTE N° 4

Conglomérat de l'Orapu

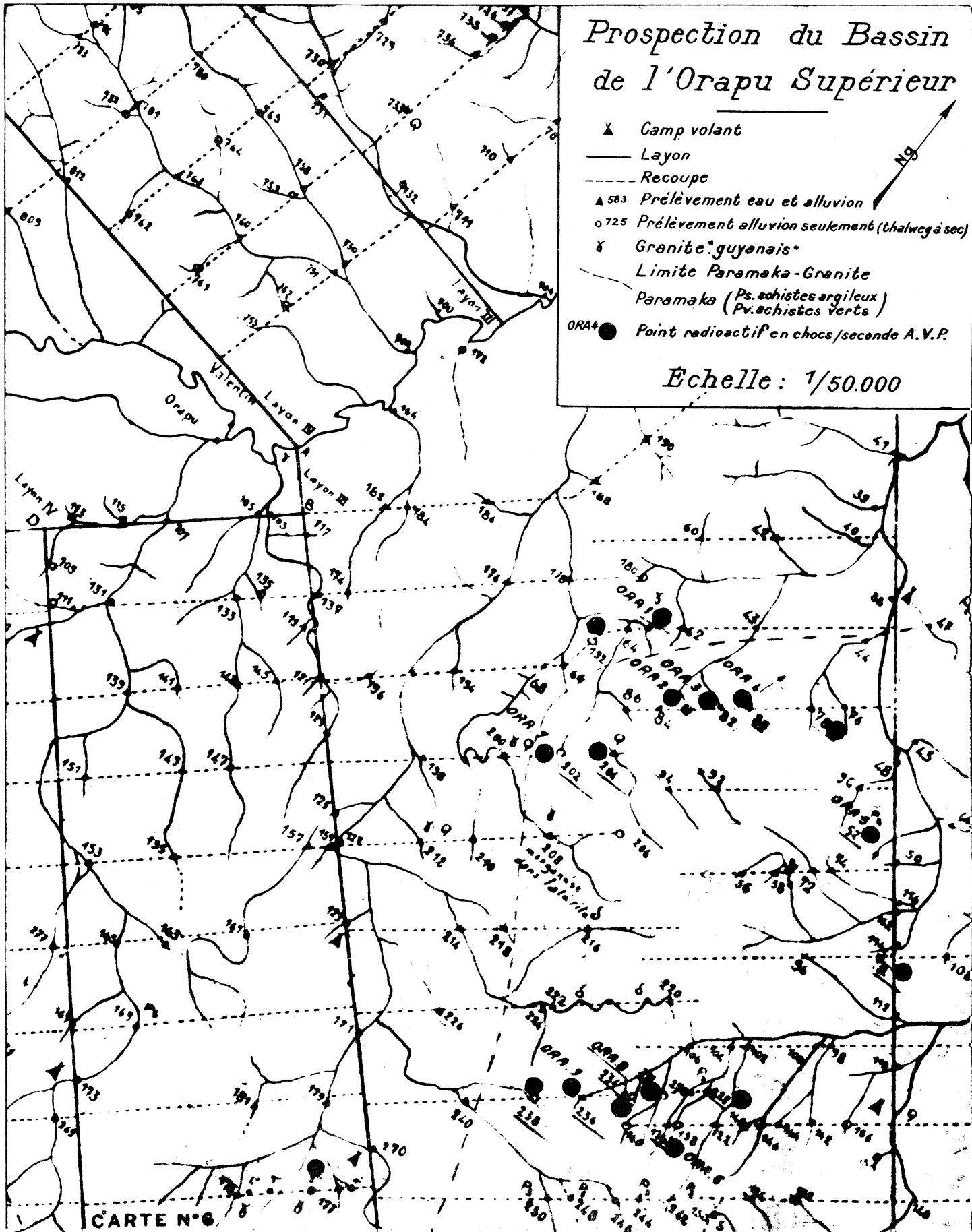
Coralie N&S - Régina Ouest

-  Layons principaux
-  Recoupe de radio-prospection (avancement 1^{er} 750)
-  Prélèvement de sol, à la tarière (maille de 250 m)
-  +280 Prélèvement d'eau courante
-  +c10 Prélèvement d'eau courante
-  **R03** Point radio-actif
-  Zone d'affleurements des conglomérats de l'Orapu

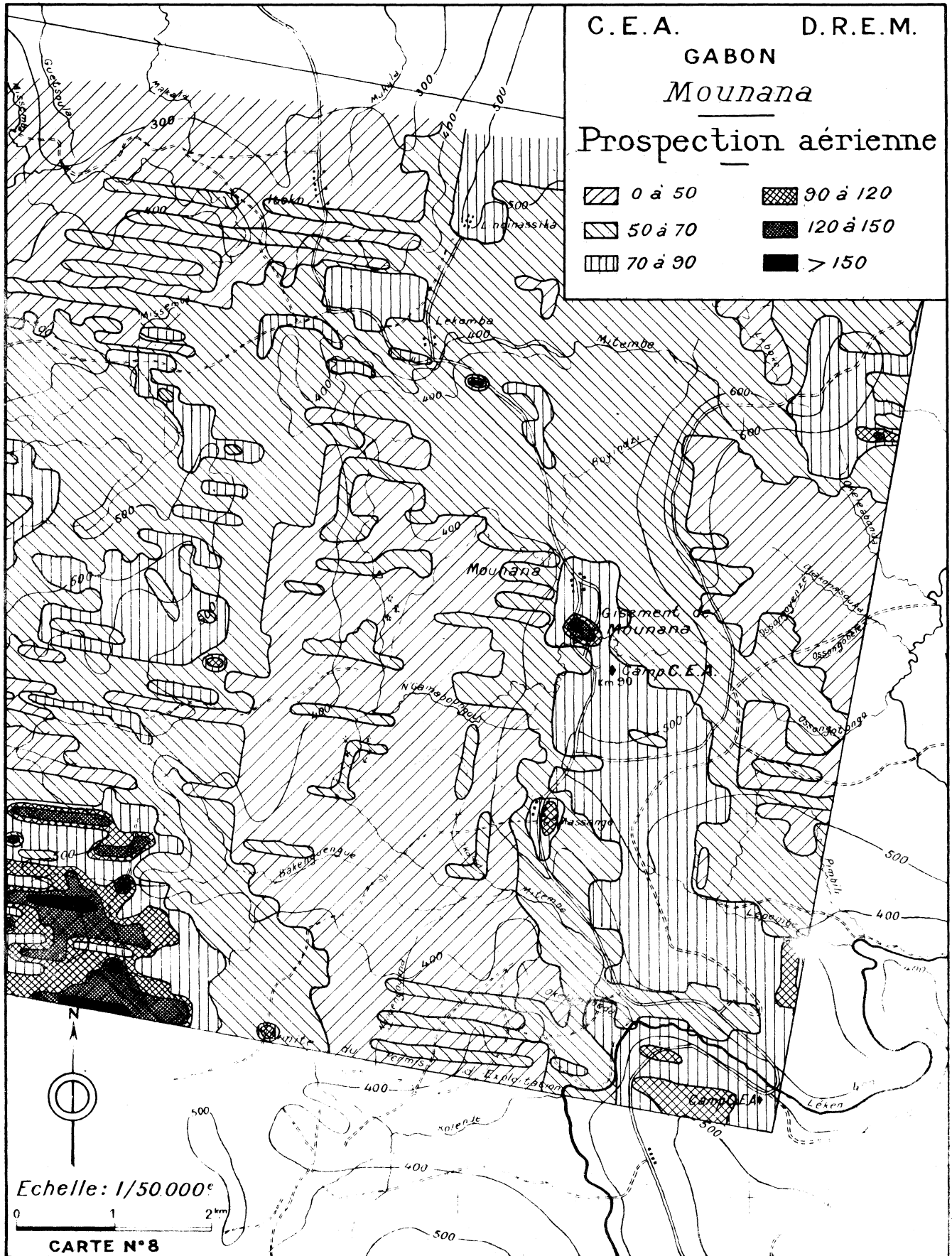


CARTE N°5

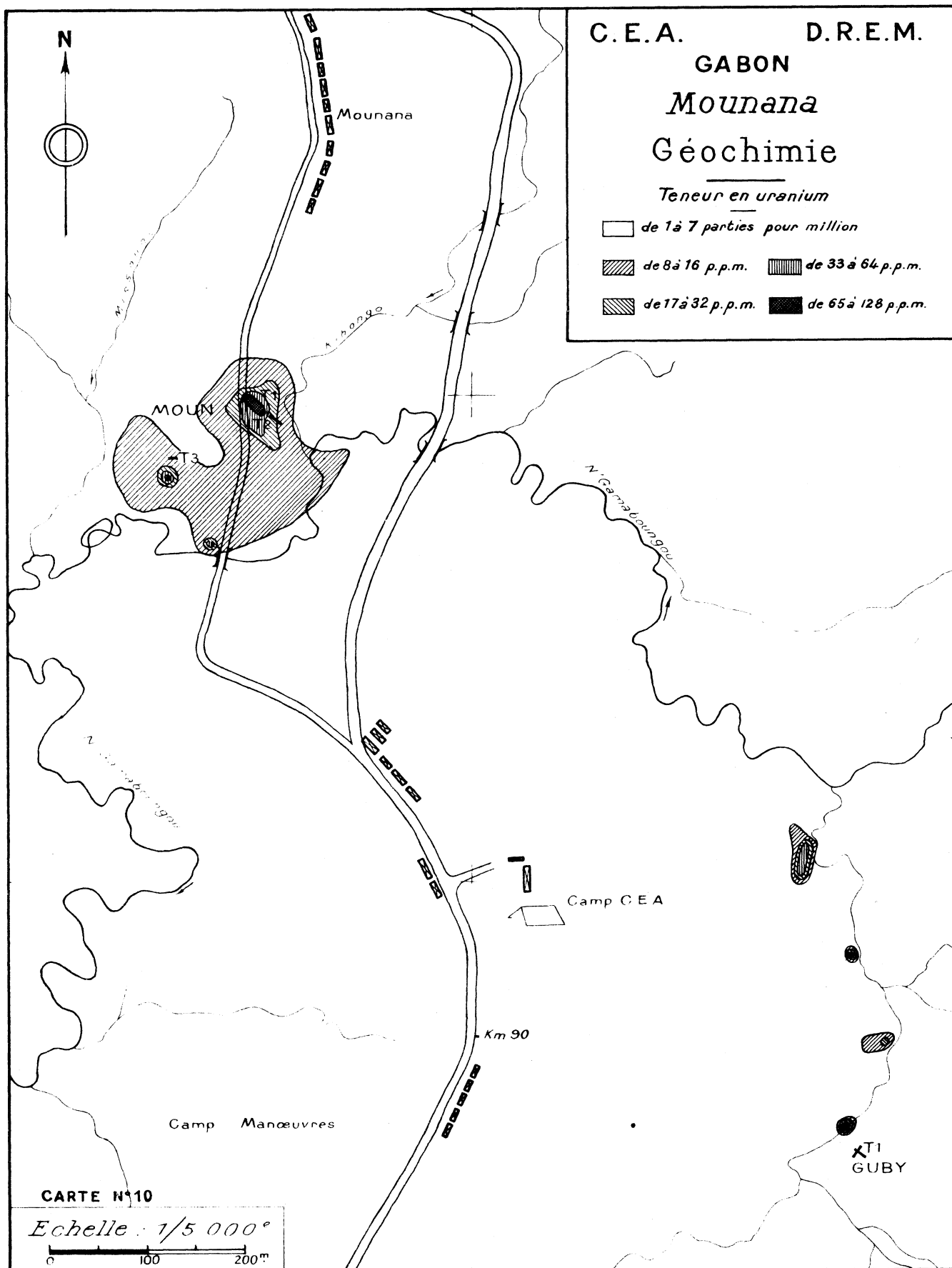
Echelle : 1/50.000 env.

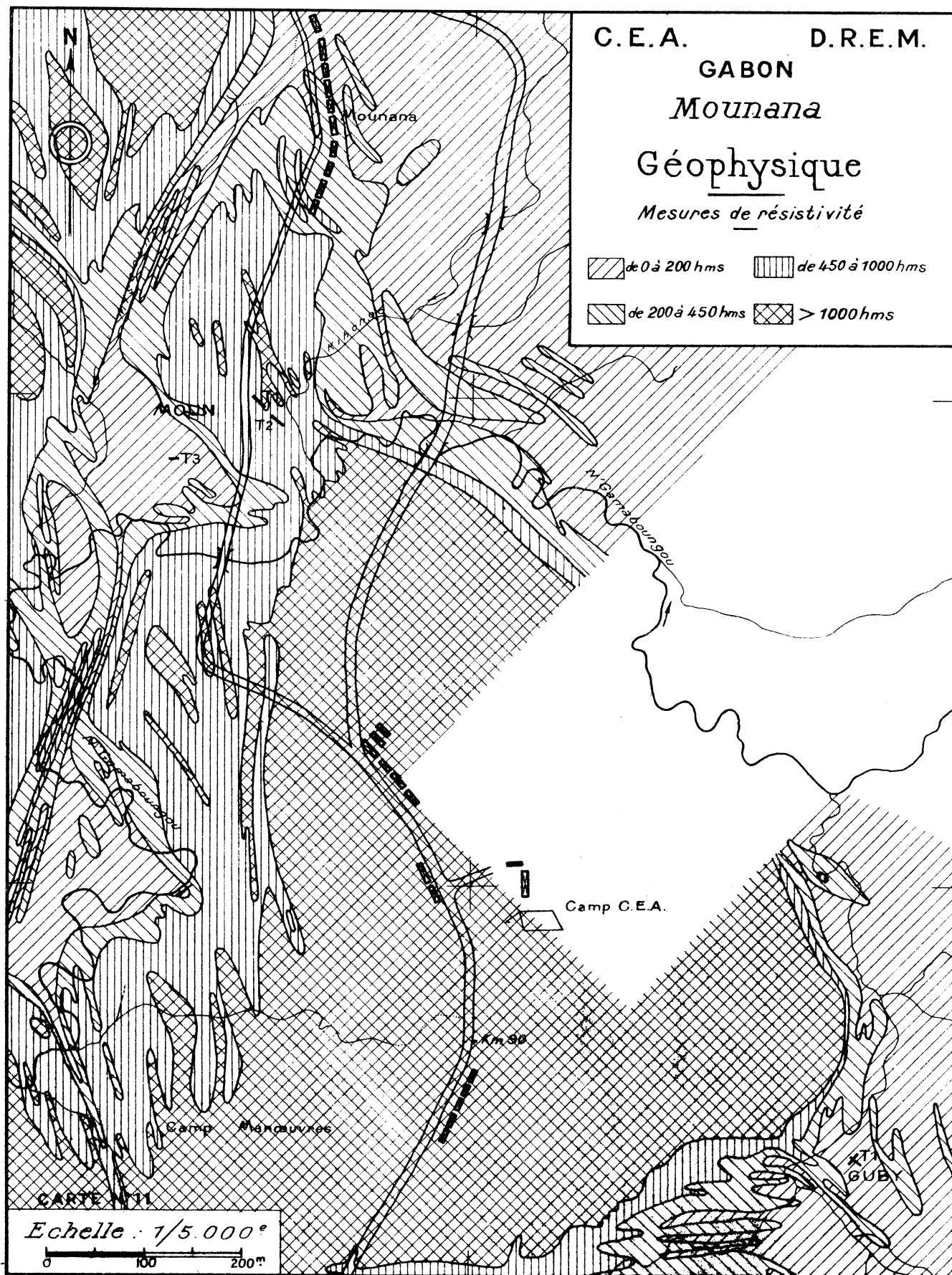


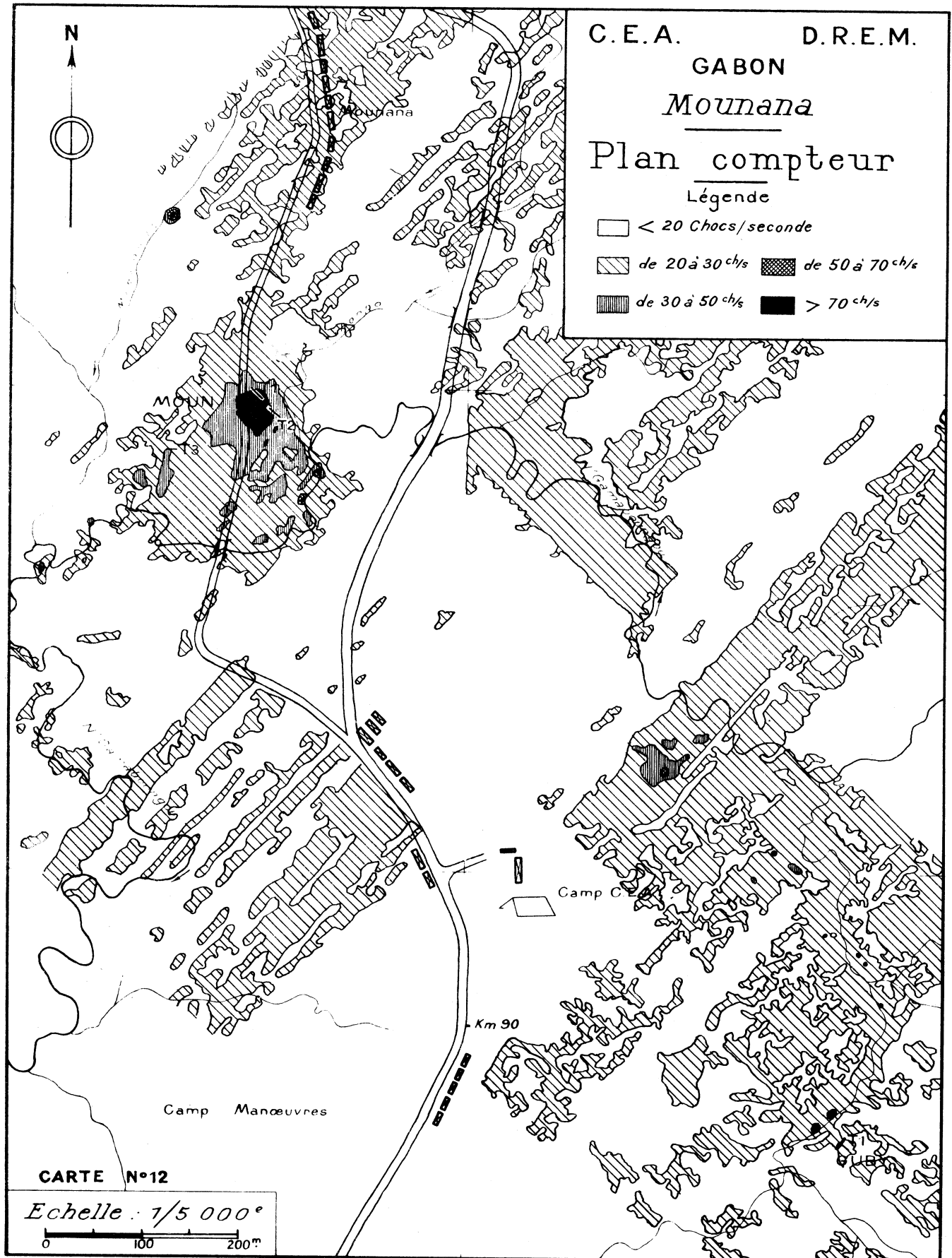




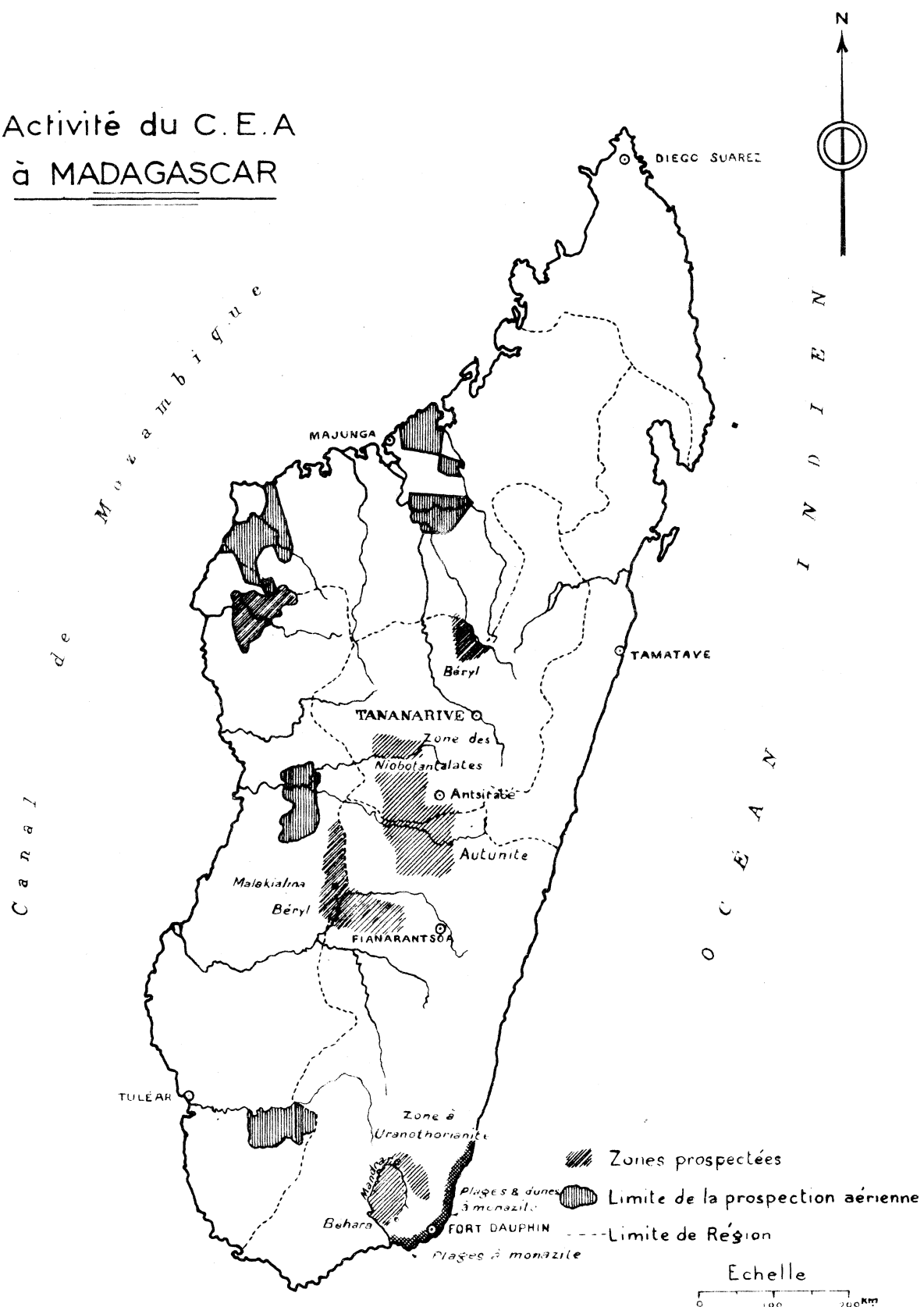








Activité du C.E.A à MADAGASCAR



CARTE N°13