

REPUBLICA ARGENTINA

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

DEPARTAMENTO MATERIAS PRIMAS

EL METODO DE PROSPECCION DE URANIO
EN UNA DIVISION MINERA
PUESTA A PUNTO Y RESULTADOS

por Henry G. Carrat

BUENOS AIRES

SETIEMBRE 1959

Comisión Nacional de Energía Atómica
BIBLIOTECA

EL METODO DE PROSPECCION DE URANIO
EN UNA DIVISION MINERA - PUESTA A
PUNTO Y RESULTADOS -

por Henry J. Carrat.

La presente publicación es una tra
ducción de "La méthode de Prospecc-
tion de L'Uranium dans une Division
Minière - sa mise au point - ses
résultats". Publicado en ANNALES
DES MINES de Marzo 1959, pág.23-42.

Buenos Aires, Setiembre de 1959.-

EL METODO DE PROSPECCION DE URANIO EN UNA DIVISION MINERA

"PUESTA A PUNTO Y RESULTADOS "

por Henry G. Carrat

I - EL TERRENO

Antes de considerar el método de prospección de uranio en el Morvan, parece necesario presentar la región en que este método ha sido practicado y puesto a punto.

La estructura geológica del Morvan (fig. 1)

El Morvan es un "horst" de terrenos primarios situado entre el valle del Loire y el Saône. Este "horst", jalón geológico entre el Macizo Central y Los Vosgos, está constituido por una serie de macizos graníticos carboníferos extendidos en dirección E.N.E. - O.S.O. y separados por sinclinales devonodinancianos o permo carboníferos. El conjunto ha sido invadido por la transgresión triásica y jurásica bajo la cual los terrenos primarios se encapan al norte y al este y existen aún sobre el granito de los cerros tes tigos del triás y del hettangiano que la erosión ha respetado.

De norte a sud se pueden completar las siguientes unidades geológicas:

- el granito de dos micas de Avallon;
- las anataxitas de Chastellux y el pequeño sinclinal stefaniano de Sincey-lès-Rouvray;
- el granito biotítico de Lormes y el granito de dos micas de Pierre-qui-Vire;
- las riolitas y microgranitos de Montreuilon;
- el granito de Château-Chinon, les Settons, Saulieu;
- el complejo devonodinanciano de Saint-Honoré-les Bains, Lucenay, L'Evêque, con los macizos graníticos de Gien-Sur-Cure, del Haut-Folin y de Molinot;
- la cuenca permiana de Autun;
- el granito biotítico de Luzu, el granito de dos micas de Saint-Léger-sous Beuvray y las anataxitas de Montjeu;
- la cuenca permocarbonífera de Blanzu, que separa el Morvan del Charollais.

Desde el punto de vista tectónico el Morvan ha sido afectado por una serie de accidentes de edad alpina dirigidos N.N.O-S.S.E. con rechazos tan genciales y verticales importantes. Estas fracturas limitan el "horst" al

Oeste y al Este. También han afectado el corazón del macizo, modificando a veces los accidentes hercínicos con direcciones diversas, que han tomado localmente.

Distribución de los indicios de uranio - los distritos mineralizados.

Al examinar el mapa de los yacimientos uraníferos de la fig. 2, se constata la agrupación en tres distritos relativamente bien delimitados, mientras que grandes espacios son estériles o no presentan sino indicios sin interés. Se trata del distrito de Grury-Luzy al sudoeste de Chateau Chinon en el centro y de Autunois, al Sudoeste. Como complemento se debe agregar a ello la región granítica de Pierre-qui-Vire, en el Morvan septentrional donde se han descubierto numerosos indicios de uranio, relacionados con las fuentes radiactivas, pero ningún yacimiento importante ha sido descubierto. Se deben indicar finalmente los indicios situados sobre los terrenos permicos que bordean al batolito de Luzy, pero el estudio de esta región no cabe en el margen de este trabajo.

Las zonas mineralizadas

Al examinar los hechos más detalladamente, se observa que dentro de los distritos mineralizados, los indicios no están distribuidos en forma homogénea, sino que se agrupan. Es lo que llamamos las "zonas mineralizadas". El mapa de la figura 2 indica la posición de las zonas en tres distritos. En el estado actual de nuestros conocimientos, existen en ellos diez, de los cuales seis han sido estudiados completamente. Las más importantes están situadas en los distritos más extensos, es decir, el de Grury-Luzy y el de Autunois, ambos al sud de Morvan.

En un capítulo próximo estudiaremos las características de las zonas mineralizadas que inciden sobre la puesta a punto de las técnicas de prospección y en especial sobre la fijación de la malla.

Pero antes de proseguir es preciso definir las características de diversas categorías de indicios y de mostrar lo que llamamos la malla de prospección.

Las diversas categorías de indicios

Se consideran tres categorías de indicios, de acuerdo con el interés que presentan y del estado de su reconocimiento.

Los indicios simples: son los que despiertan la curiosidad del prospectador, a consecuencia del aumento local de la radiactividad que no se justifica, como el ligado a la radiación cósmica, o a una modificación estructural del sustrato, etc. En general, no se registran sino los indicios que presentan ya sea, uranio mineralógicamente expresado, o bien, una radiactividad mínima de 150 impulsos/seg. en tubos AVP 9, cualquiera sea la extensión de la anomalía y la profundidad de la investigación.

Los indicios decisivos: entre los indicios simples algunos presentan un determinado valor que decide la conveniencia de un trabajo de prospección detallada, de lo que deriva su nombre. El valor mínimo de la radiactividad de estos indicios depende de la extensión de su anomalía superficial. Así para una anomalía puntual, o de poca extensión (pocos metros cuadrados) la calificación de "decisiva" no se admite sino a partir de 500 impulsos AVP. Pero una anomalía de 5-10 áreas puede ser decisiva con un valor inferior.

La evaluación de un indicio decisivo no puede ser anunciada antes que un pequeño trabajo de destape haya permitido descubrir la radiactividad máxima de la anomalía. Tratándose de un punto situado sobre la tierra vegetal y que no corresponde a ningún afloramiento, lo clásico es cavar a 20-30 cm de profundidad, pues la radiactividad presenta muchas veces un máximo en la base de la zona de humus.

Los indicios de tonelaje: son los que corresponden a yacimientos pequeños o grandes cuyo tonelaje reconocido justifica una instalación de extracción, siquiera rudimentaria. Se los llama también yacimientos de tonelaje.

Qué es la malla de prospección?

En Grury el término "malla" ha sido empleado casi siempre en el sentido de la distancia que separa dos caminos rectilíneos paralelos consecutivos. Pero a lo largo de estas trayectorias, la distancia entre las mediciones puede variar. En general con contador Geiger-Müller las mediciones se efectúan cada 5 metros, deteniéndose; en cambio los scintilómetros permiten la lectura continua.

Sin embargo, en ciertos trabajos de detalle, la malla puede readquirir su sentido más clásico; la malla cuadrada es habitualmente de 5 x 5 m.

II - EL METODO DE PROSPECCION

1. El método en el punto de partida

En 1946, poco después de su creación, el Comisariato de Energía Atómica decidió enviar al Morvan dos misiones de exploración, a Saint-Symphorien de Marmagne y a Grury. La elección de estas localidades se debía a la presencia de uranio indicada en la literatura científica. En efecto, Saint-Symphorien de Marmagne, cerca de Autun, era la región en que la autunita había sido descubierta, por primera vez en Francia, a fines del siglo XVIII. Además, sobre instigación de Pierre y Marie Curie, el prospector Hipólito Marlet efectuó allí algunos trabajos mineros a principios del siglo XX. Por otra parte Grury era la zona cerca de la cual se habían efectuado trabajos a raíz de indicios de plomo, que acusaban en superficie una radiactividad debida a la piremorfita radioactiva, Grury poseía además una mina de fluorita, en que fue determinada calcolita (torbernita?).

De modo que en 1946 los prospectores de la C.E.A. empezaron a trabajar en esas dos zonas, con la perspectiva de descubrir en ellas un mineral de uranio en las vetas hidrotermales del granito morvandio. Comenzaron con el reconocimiento sistemático de las fracturas y de las zonas quebradas, usando el método olásico del trazado geológico a martillo y a brújula. La radiometría acudió a su ayuda proporcionando los primeros contadores Geiger-Müller pero como al principio no se trataba sino de prototipos poco, numerosos, los trabajos efectuados en esa forma se limitaban frecuentemente a simples verificaciones, o a estudios de poca extensión. Se probó así mismo la prospección aluvional, pero si el estudio del mineral de torio resultaba posible por bateas, el del uranio pronto mostró no ser interesante, debido a la presencia casi exclusiva de mineral en escamas sobre la superficie, autunita y calcolita, no favorables a la concentración gravimétrica.

En Saint-Symphorien, los nuevos descubrimientos resultaron sin mayor interés, y los expertos se contentaron con volver a emprender los trabajos mineros de principios del siglo XX, en Ruaux y la Troche.

En cambio en Grury la prospección fué más favorable y después del descubrimiento del yacimiento de la Faye, fueron reconocidos en la proximidad muchos indicios ya sea por identificación de lentejuelas de autunita o de calcolita en las entrañas de las zonas fracturadas de relleno silícico, o por mediciones con contador, efectuadas sobre esas zonas. Este éxito permitió un mayor desarrollo de los trabajos y de Grury partió en 1949 la primera campaña de prospección general, que debía recorrer todo Morvan y Charolais.

En esa época y con medios semejantes fueron descubiertas los indicios de Lachaux, en Fuy-de-Dôme, y algo después los de La Crozille, en Haute-Vienne.

2.- La evolución del método de prospección.

Como hemos visto y pese al éxito, el primer método utilizado era relativamente poco desarrollado, porque la geología y la metalurgia del uranio eran poco conocidas y el instrumental disponible para los equipos de prospección era poco abundante y mal adaptado. Desde esa fecha, las características más salientes en la evolución de las técnicas de prospección han sido las siguientes:

- importante desarrollo de la radiometría;
- desarrollo de la prospección geoquímica y geofísica;
- individualización de diversos estados de prospección que permite el reconocimiento racional de las zonas que presentan indicios.

a) El desarrollo de la radiometría

Sin desmedro de la importancia del trazado a martillo y brújula, la cada vez mayor consideración de la radiometría ha sido sin duda la característica más saliente de la puesta a punto del método de prospección.

ción del uranio. Este metal o más bien sus compuestos, presentan en efecto, como cualidad esencial la de emitir radiaciones gama, susceptibles de ser interceptadas y medidas a una distancia que oscila entre algunos decímetros a algunas decenas de metros, según la importancia de la fuente emisora y la sensibilidad de los contadores. Además es preciso considerar que un blindaje de tierra vegetal de 50 cm-1 m de espesor puede aislar completamente un yacimiento importante constituido por un mineral de gran tenor.

La radiometría ha sido desarrollada en diferentes técnicas de investigación y explotación del uranio. Se emplea en avión, en automóvil, para detectar las zonas favorables. Sirve en la generalidad de los casos para descubrir los yacimientos, para determinar su riqueza aparente, su extensión superficial; sirve como guía diaria en los trabajos mineros y finalmente, se la utiliza en la evaluación de la ley al comienzo de los trabajos mineros como laboratorio.

Para cada uno de estos estados ha sido preciso diferenciar, adaptar el material electrónico al fin perseguido y teniendo en cuenta las exigencias del terreno. Así, la localización de las zonas favorables ha resultado más eficaz por el empleo del contador de centelleo, mientras para el estudio detallado, el empleo del contador Geiger-Müller a tubos múltiples, es más conveniente.

En fin ha sido necesario multiplicar la cantidad de aparatos, pese a su costo y difícil conservación. El contador, pronto dejó de ser el instrumento raro y excepcional puesto a disposición de los equipos, para llegar a ser el instrumento de todos los obreros, con el mismo derecho que la azada y la pala.

b) El desarrollo de las técnicas geoquímicas y geofísicas.

El empleo corriente de estas técnicas es relativamente reciente en la C.E.A. y aunque los primeros ensayos se remontan a cinco años, recién a partir de 1955 han llegado a ser clásicos.

En geoquímica se han efectuado simultáneamente la prospección de las aguas y aluviones y la prospección de los suelos. La hidrogeoquímica a malla grande está reservada a la localización de las zonas favorables. La prospección de los suelos está reservada exactamente al estudio detallado de los indicios. Indicaremos además, en geoquímica, los exámenes para el estudio de la distribución de ciertos elementos bajo forma de vestigios, sea en escala de yacimiento o en el marco de macizos graníticos enteros (2)

En geofísica el método de resistividad es el que ha estado más en boga. Siendo su empleo corriente en las zonas de indicios, aporta al geólogo preciosas revelaciones respecto a la estructura local y regio

nal. Advirtamos también en geofísica ejemplos recientes de la gravimetría de la magnetometría, de la sísmica de refracción, la sísmica de reflexión, del mapa de potenciales, etc.

Conviene indicar finalmente los ensayos de prospección por deducción de radón, y por trazado radiométrico alfa, que sólo han sido efectuados localmente.

- c) La individualización de los diversos estados de prospección.- Durante los primeros años la prospección se limitó al estudio de los indicios conocidos hace mucho y de sus accesos. Fueron también realizados los primeros progresos en el estado que llamamos "estudio de los indicios", en este trabajo.

El primer desarrollo de una prospección extensiva fué luego ensayado con un ritmo establecido empíricamente. El aumento del material electrónico y su mejor adaptación a las condiciones del terreno permitieron entonces una primer especialización de los equipos. Se creó una prospección volante, que debía trasladarse rápidamente y que -en consecuencia- estaba provista de material liviano y una prospección sistemática cuya exactitud de trazados y mediciones impedía que se diera especial importancia al rendimiento, por lo menos al principio.

Más adelante, los diferentes estados han podido ser individualizados, asignando objetivos exactamente definidos a cada uno de ellos. Consideraremos ahora el estudio de estas diferentes fases de la prospección.

Los términos que empleamos son los usados con mayor frecuencia en la Dirección de Investigaciones y Explotaciones Mineras de la C.E.A. El señor A. Lenoble, jefe del Servicio Central de Investigaciones ha presentado en la Conferencia Internacional para Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos, en Ginebra (1955) la sucesión de las fases de la investigación del uranio (3).

Volviendo a este informe, e inspirándonos en las ideas emitidas por los señores R. Vigier y R. Murad, en su artículo para el centenario de la industria mineral (4) hemos adoptado la siguiente terminología;

- 1a. fase: documentación preliminar;
- 2a. fase: prospección general, llamada también prospección preliminar o exploratoria;
- 3a. fase: prospección detallada, llamada también prospección regional;
- 4a. fase: estudio de los indicios;
- 5a. fase: reconocimiento del yacimiento.

3.- Las fases actuales del método de prospección

Nos dedicaremos especialmente al estudio de las primeras fases y ante todo a la prospección general y a la prospección detallada. Pasaremos rápidamente por las fases siguientes:

1a. Fase:

La documentación preliminar.

El éxito principal de la investigación de los yacimientos minerales en un país, se debe seguramente a la elección referente a las provincias que se desea prospectar.

La elección de Morvan, en 1946, como base de partida de dos de las primeras tres misiones de la C.E.A. resultó de indicios de radio y uranio que la literatura científica indicaba allí. Pero, como ya lo ha indicado el señor Lenoble, jefe del Servicio Central de Investigaciones, "el comportamiento geológico y metalogénico del uranio es poco conocido, ya que los pocos datos que suministran los tratados sobre yacimientos metálicos no son aplicables a los yacimientos franceses" (5).

Desde hace doce años la forma de los yacimientos de uranio ha sido determinada exactamente y se admite ahora que se encuentran, ya sea en los granitos más tardíos de un ciclo orogénico o bien, en su aureola o también en su cobertura sedimentaria.

En los granitos la forma del yacimiento es hidrotermal o pneumatolítico. En las series de cobertura puede conservar esta manera de ser, pero las mayores acumulaciones explotables de uranio del mundo son sedimentarias, en formaciones detríticas; conglomerados, rocas esquistosas (Blind River, Rand, Colorado). La mineralización puede estar asociada a materias orgánicas, carbonosas o fosfatadas (Vosgos, Colorado, etc).

En Morvan tenemos a la vez granitos tardíos del ciclo hercínico y rocas detríticas y esquistoareniscas. Estas pueden ser anteriores (dinantiano) y posteriores (permocarboníferas).

La mineralización no ha sido descubierta sino en los granitos y los mejores yacimientos se encuentran en las zonas más centrales de estos macizos y de las formaciones esquistoareniscas (esquitogréseuses) localmente carbonosas del pérmico.

Merece ser indicado que en nuestro programa de prospección nos han ayudado documentos geológicos y datos mineralógicos preciosos.

En cuanto al trazado geológico se refiere, hemos sacado datos de las publicaciones de Augusto y Alberto Michel-Lévy, que han establecido mapas

geológicos al 1:80000, en que han sido individualizados los grandes conjuntos estructurales. (6). Ante todo la tesis de Alberto Michel-Lévy es de su ma utilidad para la comprensión de Morvan (7).

En materia de documentación mineralógica y petrográfica, los datos iniciales nos han sido proporcionados por el Museo de Historia Natural y la Sociedad de Historia Natural, de Autun. Indicamos al respecto los trabajos de Alfred Lacroix y de Hippolyte Marlet, sobre los yacimientos de au tunita de Saint-Symphorien-de-Marmagne y los indicios de radio de la región de Grury. Cabe señalar también los datos obtenidos de los coleccionistas privados de Morvan, especialmente del Sr. Devoucoux, de Château-Chinon.

2a. Fase.

La prospección general.

Esta fase se llama también prospección preliminar o exploración.

Las técnicas de prospección general son las que conducen a la localización de zonas favorables a la mineralización.

La principal técnica de prospección general adoptada en el Morvan es el trazado geológico y radiométrico. Tiene la ventaja de agregar los datos sobre radioactividad a los del plano geológico, orientado ante todo a la lo calización de las zonas fracturadas.

Una nueva técnica, puramente radiométrica, se emplea corrientemente desde 1957, después de haber sido ensayada en 1955 y 1956. Se trata de la prospección con vehículos ("carborne").

La prospección geoquímica se practica también en forma sistemática des pués de muchas tentativas en 1956 y 1957. Se trata de la geoquímica de las aguas y los aluviones.

En cuanto a la prospección con vehículo, sólo ha sido utilizada en Francia sobre la división de la Vendée, a título de ensayo, pero es de uso corriente en las zonas del Sahara.

El reconocimiento geológico y radiométrico a pie.

Como expresamos al principio de este capítulo, la primer técnica usada en Grury fué el reconocimiento geológico sin aproximación radiométrica. El prospector trabajaba sólo, en un sector que debía recorrer al ritmo de 40-50 hectáreas por día.

Dada la importancia y la permanencia de la capa vegetal, el trazado geológico se esforzaba en utilizar los datos más insignificantes: corte de

las rutas y caminos, donde los afloramientos de granito desmenuzado permite la localización de zonas fracturadas, muchas veces rubificadas, piedras sueltas de silix que el arado ha arrancado al substrato en el curso de labradas milenarias y que la erosión superficial altera menos que el granito. Por todas partes el prospector buscaba con esmero lentejuelas de autunita o de calcolita, o trataba de identificar datos accesorios susceptibles a una interpretación favorable: cuarzo ahumado, fluorita negra, sulfuros, etc. Este estudio se completaba a veces con un examen con el contador Geiger-Müller, entonces un pesado AVP, con batería de indicación, o el gamafone a carbón, a mágneto.

Con esta técnica se han descubierto muchos yacimientos más importantes: La Faye, Bauzot, Les Brosses, Outeloup en el Morvan, los de Bois Noirs, en el Forez, etc. Con el objeto de aprovechar mejor el reconocimiento radiométrico, que en ciertos casos resultó más exacto y más eficaz que el geológico más minucioso, la prospección general se ha orientado cada vez más hacia el empleo de los contadores. La multiplicación de los aparatos permite así el desarrollo de accesos radiométricos; interviene entonces, por primera vez, el obrero que carga el contador. Desgraciadamente la falta de elasticidad de los primeros trabajos, por el amontonamiento y el peso excesivo del material, no permitió al principio un efecto útil, más tarde, el empleo de aparatos más livianos, como el S.R.A.T. de 3 tubos, o el G.M.T. 14 y luego el sintillómetro Vilbert-Lourmat (fig.3) garantizaron la prospección general con mayor eficiencia. El prospector, magnificado con esa ayuda pudo aumentar así el ritmo de su trabajo. Con el S.R.A.T. de 3 tubos, o el G.M.T. 14, fue posible cubrir diariamente una superficie media de 80 hectáreas.

El reconocimiento radiométrico realizado en automotor.

Como hemos visto, el empleo de esta técnica en Grury, es reciente. El contador adoptado es un sintillómetro S.P. Mesco 4 y cuando el vehículo ha sido standarizado, el jeep resulta muy conveniente. En posición de trabajo, el vehículo se desplaza muy despacio, utilizando todos los recursos de la zona en materia de rutas y caminos. Al volante está el chofer, que en casos de descubrimiento también efectúa laboreos. El prospector responsable observa atentamente las variaciones de la aguja sobre el integrador.

Las principales ventajas de esta técnica son su rapidez y su bajo costo. Calculamos que -con malla igual- un equipo cubre una superficie cinco o seis veces mayor que un equipo a pie, constituido por un personal idéntico y el costo de 14.000 francos por km² pasa a 2.500 francos en auto.

Los inconvenientes de la prospección en auto son su falta de elasticidad y la imperfección de los datos que proporciona. Lamentamos que para obtener una malla suficientemente estrecha haga falta utilizar todas las

vías de comunicación, incluso los caminos barrocos y no transitables, donde el vehículo se hunde fácilmente. Existe además regiones montañosas y boscosas inaccesibles debido a insuficiente densidad de las rutas; y finalmente cabe indicar que el reconocimiento geológico y radiométrico proporciona un documento mucho más valioso que el reconocimiento únicamente radiométrico, cuando las zonas son geológicamente poco conocidas, como sucede aún en Francia, en determinadas regiones montañosas. Se puede agregar que el scintilómetro ofrece el inconveniente de una sensibilidad demasiado grande: las anomalías registradas no son todas mineralizadas y su verificación frena al avance, sin mencionar el hecho de que el operador, acaparado a veces sin provecho, está en peligro de no observar una anomalía fecunda.

La prospección geoquímica de las aguas y los aluviones.

La experiencia de muchos años obtenida simultáneamente en Grury y las demás divisiones, permite recordar la hidrogeoquímica, para delimitar los distritos favorables en un sentido bastante amplio, pero no es posible pedirle de manera sistemática la individualización de zonas mineralizadas de poca extensión, y menos aún, el descubrimiento de yacimientos. Se trata pues, de una técnica que corresponde a lo que llamamos prospección general. En Grury se la emplea actualmente en los equipos de reconocimiento geológico y radiométrico a pie, pues proporciona un complemento informativo. Concebida en esa forma, su precio de costo es módico, pues el personal que carga el contador es el que efectúa directamente las deducciones. Este costo es del orden de 1000 francos por hectárea (precio aproximado) (8).

La elección en el empleo de las técnicas de prospección general

La técnica del reconocimiento geológico y radiométrico a pie es la que cuenta con mayor activo en su favor en cantidad de descubrimientos, pero es también la más antigua. En realidad, a partir de los dos años en que se la practica, la prospección efectuada en vehículos ha aportado resultados positivos innegables.

Las dos técnicas se emplean actualmente al mismo tiempo, pero con un fin algo diferente. La prospección en auto se reserva para las zonas de poco relieve, en que las probabilidades de descubrimientos son relativamente limitadas. La prospección a pie se aplica preferentemente en las zonas montañosas, sin acceso cómodo, en aquellas cuya estructura geológica permite esperar aún más resultados, en aquellas en que el descubrimiento está relacionado con una determinada sutileza en la calidad de los datos necesarios.

El fondo topográfico de los mapas de prospección general es el 1:20.000 de los nuevos mapas del estado mayor. En regiones donde este mapa no haya sido trazado aún, los prospectores trabajan sobre las ampliaciones de las vistas aéreas del I.G.N.

El estudio de la malla de reconocimiento esencial para poner a punto la prospección general, será el tema de un capítulo especial, que presenta remos después de haber expuesto las diferentes técnicas.

3a. Fase

La prospección detallada

La prospección general encaraba el descubrimiento de las zonas favorables a la mineralización.

La prospección detallada tiene como fin esencial, el estudio de estas zonas y el descubrimiento de los yacimientos o de indicios que prometen yacimientos.

Reseña histórica

Hace diez años cuando se había descubierto un punto con la prospección general, era inmediatamente objeto de lo que se llamaba "un plan contador", con malla estrecha (generalmente 5m x 5m). Pero la extensión del mapa se detenía prácticamente desde que desaparecían las anomalías. Se podría así haber estudiado durante años los yacimientos de importancia secundaria, mientras que a uno o dos kilómetros de ese lugar existían verdaderos yacimientos no detectados. Por esta razón adoptamos una técnica intermedia, entre la prospección general y el plan contador, que ha dado origen a la prospección detallada.

La prospección detallada, adoptada a partir de 1952 ha abarcado todas las zonas mineralizadas del Morvan y del Charolais conocidas hasta la fecha. Ha sido denominada "prospección detallada con malla de 25 metros".

La prospección detallada con malla de 25 metros.

El equipo está constituido por un prospector y dos o tres personas encargadas de transportar los contadores. El prospector, jefe del equipo, provisto de un contador liviano y su equipo habitual, distribuye su dotación sobre el terreno cubriendo los lotes uno tras otros. Los obreros, provistos cada uno de un A.V.P. o de aparatos más livianos, recorren los campos, formados como tiradores, a 25 m de distancia uno de otros, y efectúan una lectura cada 5 metros, es decir, cada 6 pasos. Cada vez que hayan sido recorridos 100 metros, o sea cuando ha sido recorrido un lote de una hectárea, uno de los obreros responsables anota sobre su plano la radiactividad media leída sobre todo los contadores en los 100 m precedentes, o sea, en el lote terminado. Esta radiactividad es la del movimiento propio cuyas fluctuaciones revelan la presencia de un contacto geológico o de un espesor diferente de la tierra vegetal. Cuando se estima que las variaciones de la radiactividad tienen otro origen, la correspondiente anomalía es estudiada ciudado-

samente y circunscripta mediante un pequeño trabajo radiométrico detallado y eventualmente haciendo un destape sobre el máximo obtenido, tal como ha sido indicado en un párrafo anterior. Durante este tiempo y controlando constantemente el trabajo del personal, el prospector efectúa un trazado muy exacto de los afloramientos, las piedras sueltas, las fuentes y otros detalles geomorfológicos susceptibles de servir para la síntesis.

La base topográfica sobre la cual se trabaja es el 1:10.000 o de 1: 5.000. Tratándose de lotes bien delimitados y de extensión media (1-3 hectáreas), el trabajo de la localización sobre el mapa es relativamente fácil. Menos fácil resulta en las pendientes boscosas de mucha extensión y en los grandes lotes más o menos cubiertos de arbustos, donde el avance exige una picada. En ese caso el prospector debe preparar minuciosamente su itinerario, a fin de evitar los ratos perdidos. El avance diario de un equipo formado por un prospector y dos obreros es del orden de 20 hectáreas, cuando las condiciones son favorables. Es muy inferior en caso contrario.

4a. Fase

El estudio de los indicios

Cuando ha sido descubierto un indicio promisor o una serie de indicios interesantes durante la prospección detallada, se encara el estudio de estos indicios mediante una serie de técnicas, divisibles en dos categorías:

- 1º La prospección sistemática o el estudio preliminar de los indicios.
- 2º El examen de los indicios efectuados por excavaciones y sondajes geológicos.

Estas técnicas aparentemente tan diferentes han sido englobadas bajo el mismo rubro, porque sobre el terreno constituyen un todo, que va desde el descubrimiento hasta la explotación minera. Además no se las efectúa siempre en el orden precitado.

La eficacia de estas técnicas consiste en que no se encara la explotación minera, siempre muy cara, sino con entero conocimiento y contando con un máximo de perspectivas de éxito.

a) La prospección sistemática

Una vez descubierto o circunscripto el yacimiento, falta estudiarlo, medir su extensión, conocer su estructura y su riqueza aparente. Este objetivo se alcanza mediante la prospección sistemática.

La prospección sistemática es ante todo el estudio del comportamiento superficial del indicio promisor.

Las técnicas

Muchas son las técnicas que pueden colaborar en este estudio:

-el levantamiento geológico y geomorfológico exacto; estudio en detalle sobre el mapa a 1/1000 ó 1/2000, con trazado topográfico de los afloramientos y las zonas privilegiadas (fuentes, etc). La poca frecuencia de los afloramientos da especial importancia al trazado exacto de las piedras sueltas de la tierra vegetal. Las formas del relieve tienen además, interés en vista de una interpretación útil para el estudio del yacimiento.

-los levantamientos radiométricos: son de diferente clase.

-el plano radiométrico de rayos gama con malla cuadrada estrecha (5m x 5m ó 1m x 1m);

-el trazado por deducción de radón; malla cuadrada de 20 a 50 m

-el levantamiento radiométrico alfa.

-los levantamientos geofísicos;

-la resistividad - (espaciado de los perfiles de 30-60 metros).

-la sísmica por refracción y reflexión.

-el mapa de potenciales

-la prospección magnetométrica

-el levantamiento geoquímico de los suelos: espaciado de los perfiles de 30-60 metros con deducciones cada 20 metros.

El levantamiento geológico y geomorfológico exacto es la técnica más importante del geólogo. A ello vuelve cada vez que quiere comprender el carácter superficial de su yacimiento. Es también bajo la luz de este levantamiento que se deben interpretar las demás técnicas.

En la C.E.A. el desarrollo de la prospección geofísica y geoquímica es relativamente reciente. Aunque los primeros ensayos datan de 1953, se puede decir que recién a partir de 1955 han llegado a ser clásicas.

En geofísica la primera en ser empleada ha sido la resistividad. Aunque otras hayan sido objeto de numerosos ensayos, es ella la que tiene prioridad en todas las formaciones filonianas.

En materia de prospección por radón, han sido efectuados numerosos ensayos, tanto en terreno granítico como en sedimentos. Los resultados obtenidos con frecuencia han estado de acuerdo con los planos contadores, pero manifiestan una sensibilidad exagerada, indicando anomalías carentes de interés. La ventaja de esta técnica, abandonada actualmente, es su rapidez.

En geoquímica, el método de las deducciones de los suelos, ha visto-después de un comienzo difícil- generalizado, su empleo, cuando fue posible hacer deducciones sistemáticas sobre el replanteo de la resistividad geofísica.

Ventajas y aplicaciones de las técnicas de la prospección sistemáticas

El interés de este estudio consiste en adelantar al máximo el conocimiento de la superficie, a fin de reducir los costos de las fases subsiguientes. Daremos un ejemplo claro referente a la utilidad de la prospección geofísica por la resistividad de los suelos. Antes, el estudio de un haz de filones que afloran separados por grava y tierra vegetal que hace las veces de blindaje, e inutilizan el trabajo del contador, exigía excavaciones largas y costosas y sondajes sumamente profundos. La colaboración de la técnica de las resistividades permite la localización de las diferentes formaciones del haz con eficacia muchas veces satisfactoria y permite también limitar la longitud de las trincheras y los sondajes.

Sin embargo, estas técnicas pueden presentar graves inconvenientes cuando sus resultados son interpretados equivocadamente. Así, por ejemplo, ciertas anomalías geoquímicas pueden corresponder a simples "alzas" superficiales, sin fundamento. En ese caso, las trincheras y los sondajes están consagrados al fracaso, y constituyen una pérdida segura. Lo mismo sucede con el radón que debido a su movilidad puede desviar la atención del prospector hacia zonas sin interés.

Seguramente el empleo de determinadas técnicas es más apropiado que el de otras para estudiar algunas clases de yacimientos. Es así, que método de resistividad, el más útil para el estudio de la estructura de una roca homogéneo y tectónicamente simple, es menos eficaz en las regiones donde una tectónica reciente con relleno arcilloso no consolidado cubre los accidentes antiguos. El empleo de este método es aún más difícil en los terrenos sedimentarios de estratificación cruzada.

En los mismos distritos de tectónica reciente, con numerosas modificaciones de las formaciones mineralizadas, la radiometría gama de malla espesa expresa muy bien el valor de los yacimientos, por lo menos en su zona superficial, y la geoquímica por localización de los suelos probablemente será inútil en estas zonas.

b) El reconocimiento de los indicios

Son éstas las operaciones cuyo resultado conduce a la decisión de emprender trabajos mineros o de abandonarlos.

El reconocimiento de los indicios debe conducir a la seguridad de un yacimiento explotable.

Tres técnicas permiten el reconocimiento de los indicios:

- la primera, en orden cronológico, es la de las trincheras, en el caso de que la formación aflore o se halle a poca profundidad;
- la segunda es el estudio por pequeños trabajos mineros de subsuperficie, cuando los afloramientos son dudosos (zonas de gravas, solifluxión) o cuando se supone la presencia de datos importantes referentes a la riqueza y a la naturaleza de la mineralización, a pocos metros de profundidad. Estos trabajos ofrecen la ventaja de ser apenas más costosos que las excavaciones. Su utilidad es indiscutible para el estudio de un tonelaje explotable en canteras;
- la tercera es el estudio mediante sondajes "geológicos". Estos sondeos tienen por objeto el reconocimiento de la formación susceptible de mineralización a tal profundidad que la alteración meteórica modifique la distribución primaria dentro de las fracciones de relleno hidrotermales.

En general, en nuestras regiones, la profundidad de investigación es de por lo menos 40 metros. Esta distancia ofrece la ventaja de proporcionar datos sobre el primer nivel de la futura mina, situada comunmente a 30-40 metros de profundidad.

Durante los primeros años de la C.E.A. la escasez o la ausencia de sondas no permitió darse cuenta fácilmente del interés que podría ofrecer un yacimiento situado a poca profundidad. Ante esta falta, se estableció la implantación de trincheras profundas, que no tardaron en formar pozos pequeños de hasta 10-12 metros de profundidad. Desgraciadamente los datos proporcionados por estos trabajos, dirigidos directamente por geólogos y prospectores resultaron muchas veces confusos, debido a la alteración del granito, importante aún en estos niveles.

Quando las sondas pudieron ser utilizadas con mayor frecuencia, esos pozos desaparecieron en beneficio de trabajos mineros más importantes, encarados en el margen de la fase siguiente.

5a. Fase

El reconocimiento del yacimiento

Ante la posesión de un yacimiento explotable, falta descubrir su extensión y determinar el tonelaje obtenible a una ley rentable. Es lo que deben revelar los trabajos mineros y los sondeos de "reconocimiento".

No encararemos en este estudio la exposición de las técnicas utilizadas en los trabajos mineros de investigación y en los sondeos ligados a ellos. Nos contentaremos con exponer las realizaciones año tras año, con el fin de observar adonde nos han llevado -ya sea inmediatamente, o con retroceso de algunos años- los resultados de la prospección general, de la prospección detallada y del estudio de los indicios.

4.- El problema de la malla de reconocimiento

a) En la prospección general

La puesta en punto del método de prospección general plantea un problema esencial del cual depende el rendimiento de esta operación y, al fin de cuentas, su éxito; se trata de la elección de la malla de reconocimiento.

Nos hemos entregado al respecto a un estudio minucioso de los mapas radiométricos de las zonas mineralizadas, cuyo trazado radiométrico superficial ha sido terminado. Las zonas inventariadas son seis, distribuidas en los tres distritos mineralizados. Entre ellas, tres constituyen lo esencial del distrito Grury-Luzy; se trata de la zona de La Faye-Les Brosses, la de Bauzot y las de Oudots. Otras dos forman la totalidad del distrito Château-Chinon son las zonas de L'Huis-Jacques y la de Outeloup; la última pertenece al Autunois, habiéndose emprendido su estudio y donde zonas nuevas, recién descubiertas, permitirán la complementación ulterior de este trabajo. Se trata de la zona de Saint-Symphorien-de Marmagne.

Nos hemos preocupado en averiguar, a posteriori, la malla más útil para la localización de las zonas mineralizadas y para descubrir si la usada en el Morvan es efectivamente la más conveniente.

La reunión de los indicios decisivos y de los yacimientos por tonelaje.

Prácticamente la totalidad de los yacimientos de tonelaje y la inmensa mayoría de los indicios decisivos están situados dentro de las zonas mineralizadas. El plano de la figura 2, en que únicamente están representados los yacimientos de tonelaje, permite darse cuenta de esta distribución.

El agrupamiento de los indicios en zonas, permite una constatación del mayor interés. En efecto, si los indicios fuera de la zona son casi siempre casos no interesantes, el descubrimiento de un indicio decisivo en un sector nuevo significa el descubrimiento de una nueva zona. En otras palabras, cuando ha sido descubierto, en estas condiciones un indicio importante, las probabilidades de descubrir otros parecidos en la proximidad, aumentan enseguida.

Extensión y riqueza de las zonas mineralizadas

Deben hacerse otras dos advertencias importantes.

Desde luego se observa que la cantidad de indicios o de yacimientos de una zona está en relación directa con su extensión. El examen del cuadro siguiente, muestra que la cantidad de yacimientos de tonelaje de una zona es aproximadamente proporcional a su superficie.

Zonas mineralizadas	Superficie en Km ²	Cantidad de yacimientos de tonelaje
Zona de La Faye-Les-Brosses.	30	11
Zona de Bauzot	15	5
Zona de L'Huis-Jacques	12	4
Zona de Outeloup . . .	5	2

Parece que esta constatación no tiene únicamente valor regional. En efecto, los datos recogidos por los Servicios de Investigación de las demás divisiones mineras metropolitanas no están, al parecer, en desacuerdo con estos cálculos, cuando se trata de yacimientos hidrotermales. En cambio, los yacimientos sedimentarios no presentan al parecer las mismas características.

El segundo hecho, digno de ser subrayado, es el referente a la densidad y la riqueza de los indicios. Mientras que la extensión individual de las anomalías es en cierto modo función de la situación geomorfológica y tectónica local y no está necesariamente ligada con la riqueza del indicio de profundidad, no sucede lo mismo con su cantidad y su valor máximo. En otras palabras, una zona tiene tanto más probabilidades de contener un considerable tonelaje en profundidad, cuando más importantes sean la densidad y el valor de sus anomalías decisivas.

En beneficio de la claridad de nuestros informes, podemos agregar que un mapa sobre el que figure exclusivamente las radiactividades máximas obtenidas en trincheras o por destapes, expresa mucho más respecto al interés de una zona mineralizada, que el mapa radiométrico clásico, con isoradios detallados.

La incidencia de estos caracteres sobre el concepto de la prospección general

En consecuencia y no teniendo en cuenta el hecho que existe entre las zonas mineralizadas, una jerarquía y, que entre ellas algunas no contienen yacimiento explotable alguno, es indispensable conocer, después de la prospección general, el interés de una zona recién localizada. No basta, pues, con un solo indicio decisivo por zona, sino que hacen falta varios. Por consiguiente, con las mismas mallas de reconocimiento, una zona será tanto más interesante y de prospección urgente, cuanto más indicios se hayan localizado en ella y cuanto más rícos sean estos indicios, Pero la extensión superficial de cada uno de ellos ofrece un interés relativamente secundario.

El problema de la localización de las zonas mineralizadas

En la medida en que la distribución de los indicios de una zona mineralizada obedece a la ley logarítmica normal, los métodos estadísticos pueden dar -en principio- la malla de localización de estos indicios, con una probabilidad definida.

Sin embargo, dada la complejidad de los fenómenos que intervienen, como ser la forma de las anomalías, su separación irregular, la amplitud de la banda de investigación a lo largo de los perfiles, hemos aplazado para más adelante este estudio y nos hemos limitado a una discusión provisoria, partiendo de elementos recogidos sobre diagramas.

El agrupamiento de las anomalías ha sido efectuado según el principio siguiente: Se han considerado anormales los valores radiactivos cuando eran superiores en 6-8 imp/sobre los de fondo. Así, se han anotado las mediciones superiores a 30 imp/seg. cuando el back ground era de 22-24. Es probable que la anomalía empieza con un valor intermedio, pero las fluctuaciones de los aparatos y el coeficiente personal de incertidumbre del obrero que carga el contador, no permiten anotar estos desplazamientos débiles.

TARLA I

ZONAS MINERALIZADAS	N° de anomalías decisivas	Cantidad mínima de anomalías localizadas con malla de:				
		50m	100m	250m	500m	1000m
Zona de La-Faye-Les						
Brosses.....	92	99	46	15	7	2
Zona de Bauzot.....	21	52	23	7	0	0
Zona de Saint-Symphorien	29	6	1	0	0	0
Zona de L'Huis-Jacquee	24	44	21	5	2	0
Zona de Outeloup...	14	12	5	1	0	0
Zona de Oudots.....	18	30	13	3	1	0

En este trabajo sólo hemos considerado las anomalías decisivas, es decir, las que han producido un mínimo de 500 imp/seg. en superficie, o en destapes. Las variaciones del valor dentro de cada anomalía no han sido consideradas. La dirección imprimida a los perfiles rectilíneos N.E.-S.O. es la adoptada sobre el terreno. Es la dirección ortogonal a la de la mayoría de los accidentes mineralizados al Este del Macizo Central.

Se ha considerado una localización continua a lo largo de los caminos recorridos. En este caso con scintillómetros. Con contadores Geiger-Müller, que efectúan una medición cada 5 metros, con control intermedio, se puede aceptar que el resultado sería el mismo.

La amplitud de la banda de investigación a lo largo del perfil, está en escala en el diagrama; podemos considerar que mide 1-2 metros de una a otra parte del recorrido.

Tomamos cinco ejemplos de espaciado entre los recorridos 50 metros, 100 metros, 250 metros, 500 metros y 1000 metros y para cada uno de ellos estudiamos la cantidad mínima de anomalías, localizadas, para el conjunto de una zona observada. Son seis las zonas objeto de este trabajo, pero sólo las 4 primeras contienen yacimientos importantes.

La figura 4 describe una de estas zonas, la de La Faye-les-Brosses. El estudio del cuadro I sugiere las siguientes observaciones:

- la cantidad de localizaciones es a veces superior a la cantidad de anomalías decisivas. Esto se debe al hecho de que las más extensas entre ellas, han sido detectadas varias veces;
- es fácil comprender la disminución de la cantidad de anomalías detectadas, con la ampliación de la malla.

En todas las zonas mineralizadas, la disminución de la cantidad de localizaciones con el espaciado de los recorridos, es del mismo orden de magnitud, salvo en una, la de Saint-Symphorien de Marmagne. En efecto, mientras que todas las zonas y, muy especialmente las primeras, son fácilmente tocadas con mallas de 50, 100 y hasta 250 metros, la de Saint-Symphorien puede escapar a la detección a partir de 250 metros (figs.4 y 6).

TABLA II

ZONAS MINERALIZADAS	anomalías localizadas con mallas de									
	50m		100 m		250 m		500 m		1000 m	
	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.
Zona Le Faye- les-Brosses..	99	106	46	57	15	29	7	16	2	9
Zona de Bauzot	52	54	23	30	7	17	0	10	0	6
Zona de Saint Symphorien...	6	10	1	7	0	5	0	3	0	2
Zona de L'Huis- Jacques	44	46	21	24	5	13	2	7	0	4
Zona de Oute- loup	12	18	5	9	1	6	0	4	0	3
Zona de Oudots	30	34	13	20	3	13	1	5	0	4

Con el objeto de precisar este problema nos ha parecido útil estudiar las variaciones en la cantidad de localizaciones, según la situación del recorrido de partida. El cuadro II da una idea de estas variaciones cuya amplitud es tanto mayor, cuanto más grande sea la malla. Así con la de 50 metros la cantidad máxima y la mínima tienen poca diferencia. En cambio, con la de 250 metros, las dos cantidades adquieren valores que van del simple al doble. Tratándose de la malla kilométrica, la diferencia se acentúa enormemente, hasta el punto de variar de 0 a 4, de 0 a 6. Se notará el peligro a que se está expuesto, en los casos desfavorables, cuando la malla es demasiado amplia.

Hemos observado en un rubro anterior, el interés que tiene la prospección general en conducir al descubrimiento de una cierta cantidad de indicios decisivos por cada zona a fin de formarse una idea sobre su extensión y también para disponer de datos más abundantes y más exactos respecto a su riqueza. El examen de los dos cuadros debe permitir la fijación de la malla más favorable. Hemos visto que existen a ese respecto dos categorías de zonas; aquellas en que las anomalías son relativamente extensas y aquellas en que son con frecuencia puntuales. Pensamos, en consecuencia, que se deben tener en cuenta dos mallas diferentes: la de 250 metros, que proporciona absoluta seguridad con las primeras y una malla más estrecha (por ej. 150-200 m) aplicada preferentemente a las segundas.

En el Morvan, la malla adoptada para la prospección general es la de 250 m (desde 1955), fecha de la aparición de los primeros contadores livianos de gran sensibilidad (S.R.A.T. 3 tubos).

Hay pues, motivo para creer que los sectores situados en las entrañas del granito porfiroide biotítico, entre los que se encuentran las zonas de La Faye-Les-Brosses, Bauzot y l'Huis-Jacques, han sido recorridas con el máximo de seguridad.

En cuanto a los sectores en que se arriesga que las anomalías sean puntuales, como el Autunois y la meseta de la Pierre-qui-Vire, no creemos que la prospección general haya descuidado algo. La reanudación de la prospección en algunas regiones de Autunois, con prospección de tallada, confirma esta opinión. Sin embargo, no nos aventuramos a adelantarlos con respecto a la Pierre-qui-Vire, donde las anomalías ligadas con el régimen hidrográfico de la región, pueden ser debidas a ya cimientos especialmente enmascarados en la superficie. Al fin de cuentas, la malla de prospección general más conveniente en el Morvan, es de 200-300 metros. Por lo demás, una malla semejante ha sido adoptada en otros países para trabajos del mismo orden. El señor Pierre Laffitte, director de B.R.G.G.M. nos ha indicado hace poco, que en Rusia la confección de los mapas geológicos y metalogénicos, cartografiados sobre un fondo topofotográfico de 1/50.000, se llevan a cabo sobre el terreno, a partir de recorridos separados por 200 metros.

Además A.N. Lang indica que en el Canadá ha sido adoptada una malla de 200-300 metros para la prospección "sistemática" cuyo fin es análogo a nuestra prospección general.

b) En prospección detallada:

Lo mismo que para la prospección general, uno de los problemas importantes es la malla. En este orden de ideas, es interesante saber cuál es la malla más favorable al descubrimiento, pero en este caso no se trata de localizar la zona mineralizada, sino el yacimiento, propiamente dicho. Los planos 5 y 6, enseñan el aspecto superficial de dos diferentes clases de yacimientos. En el primero (fig. 5) la anomalía es única y muy rica: se trata de l'Huis-Jacques. Todos los yacimientos situados sobre granito biotítico presentan anomalías espectaculares, pero pocos son los que las tienen tan ricas y extensas.

En cambio, en el segundo diagrama (fig.6) las anomalías son puntuales y múltiples. Como por otra parte no están acompañadas por afloramientos, ni por piedras sueltas (pierres volantes), la detección de los yacimientos subyacentes es muy fortuita. El estudio comparativo de los dos mapas muestra que l'Huis-Jacques pudo haber sido descubierto con una malla muy espaciada, siendo indispensable una malla estrecha en Ruaux. En la práctica se supone generalmente que las anomalías del granito biotítico, correspondiente a formaciones mineralizadas de relleno silicoso, son localizadas fácilmente con recorridos separados 50-25 metros; en cambio tratándose de anomalías de granito bimicáceo, con mineral sin ganga, la malla de 25 metros constituye un máximo.

III - LOS RESULTADOS

Presentación del Diagrama evolutivo

El diagrama de la figura 7 presenta determinada cantidad de gráficos, que representan la evolución de las diversas actividades efectuadas desde los albores del Comisariato de Energía Atómica.

Gráfico 1

Registra las variaciones anuales de las actividades acumuladas. A fin de poder sumar simultáneamente cosas carentes de medida común, como los kilómetros cuadrados explorados, los metros de socavones y las toneladas de tierra sacadas con excavaciones, hemos elegido una unidad común, basándonos en forma puramente arbitraria en el trabajo realizado por un prospector, cuya actividad consiste en dirigir un equipo terrestre, o en controlar las excavaciones, los sondeos o los trabajos mineros. Esta unidad se llama MEG (metros equivalentes de socavones).

De modo que 1 meg que representa en el comienzo 1 metro de socavón

del mineral, o sea 5 metros de pozos mineros, resulta equivalente a: 20 hectáreas de prospección general; 4 hectáreas de prospección detallada; 0,75 hectáreas de plano radiométrico de 5m X 5m; de malla; 1 hectárea de resistividad geofísica y geoquímica de los suelos; 1 metro cúbico de trinchera; 5 metros de sondeo.

El gráfico 1 indica el aumento de la actividad de la división. Esta progresión ha sido efectuada en forma casi regular. Sin embargo, es preciso constatar un aumento decidido en 1954, debido a un importante aumento del personal.

Gráfico 2

Proporciona la progresión del descubrimiento de indicios. Presenta además las fluctuaciones que el gráfico no indica. Se observan máximas en 1950, 1952 y un aumento rápido a partir de 1954. Las máximas corresponden a los períodos de la mayor actividad exploradora, las mínimas corresponden a los años en que la prospección general y detallada, fueron demoradas debido a un mayor esfuerzo consagrado al estudio de nuevos yacimientos. En general, el importante progreso realizado en los descubrimientos desde 1954, comparado a un progreso más lento de las actividades, indica un aumento neto del rendimiento.

Un dato que debe ser anotado es el porcentaje de los indicios revelados en los yacimientos. Al 1° de enero de 1958 tenemos en el Morvan:

- 280 indicios simples clasificados;
- 100 yacimientos sometidos a excavaciones;
- 53 yacimientos sometidos a sondeos;
- 27 yacimientos de tonelaje;
- 7 yacimientos explotables;

Se observará también que sólo un 10% de los indicios han proporcionado yacimientos de poco tonelaje y que solamente un 2-3% han proporcionado yacimientos explotables.

Gráficos 3, 4, 5, 6 y 7

Presentan las variaciones anuales en las diferentes actividades. El estudio de los gráficos será el tema de la rúbrica siguiente.

Gráfico 8

Representa las variaciones anuales del tonelaje, no solamente evaluado a partir de los trabajos mineros, sino también a partir de los sondeos (el tonelaje se calcula a partir de los trabajos siguientes, considerados como mínimo:

- ya sea el trazado o el reconocimiento de dos niveles sucesivos con interpolación posible.

- o el trazado o reconocimiento de un nivel completado con sondeos positivos, cuya interpretación permite afirmar la continuidad de la formación mineralizada). Se nota un progreso visible en 1953 y ante todo, a partir de 1955. Esta evolución atestigua un aumento del rendimiento, mayor aún que el aumento de los indicios.

Las cadenas de reconocimiento del yacimiento

El examen de los gráficos 3-7 que indican las fluctuaciones de cada una de las actividades, aconseja presentar la extensión de las diferentes etapas de la investigación de cada yacimiento o cada grupo de yacimientos, con el tiempo. Esto ha llevado a filiaciones de una actividad con otra y de un período con otro. Así, estas filiaciones pueden proseguirse desde el descubrimiento de los primeros indicios, hasta que los trabajos mineros hayan explotado un cierto tonelaje. Este factor está representado por las bandas sombreadas escritas sobre los gráficos. En esa forma, ha sido posible individualizar para cada yacimiento, o grupo de yacimientos, una verdadera "cadena" extendida a través de muchos años.

Para favorecer el estudio de estas "cadenas", se ha considerado útil distinguir en el conjunto de las cadenas de reconocimiento dos diferentes regímenes de filiación, netamente diversos. Por una parte están las que parten del primer indicio localizado en la prospección general y que han dado por resultado el descubrimiento del yacimiento con la prospección detallada; por la otra parte, existen filiaciones, que parecen obedecer a una distribución diferente en el tiempo, que parten desde el descubrimiento del yacimiento, hasta haber establecido su valor, por el cálculo del tonelaje.

Desde el primer indicio al yacimiento

Gran variedad parece reinar entre las filiaciones, que pueden ser verticales, en caso que el descubrimiento del primer indicio y el del yacimiento hayan sido efectuados al mismo tiempo. Es el caso de la Faye y de Bauzot. En otras partes transcurre, un período variable; puede llegar a tres años, según el orden de urgencia en el trazado de planos y la importancia de los medios de investigación.

Del yacimiento al tonelaje

Las filiaciones presentan mayor regularidad. Muestran casi todas en el gráfico una inclinación parecida en su parte inferior. Esta característica demuestra que existe un tiempo relativamente constante entre el descubrimiento de un yacimiento o de un índice prometedor de yacimientos y la adquisición de los primeros elementos del tonelaje. Este período es del orden de dos años.

Sin embargo, aparece un fenómeno nuevo, que conviene indicar. Se trata de descubrimientos recientes en las rocas sedimentarias de la cuenca de Blanzky. Los yacimientos son allí poco profundos y apreciables rápidamente, mediante pequeños sondosos verticales, con buenas muestras de perforación. Así, a medida que se dispone del material -después del descubrimiento del indicio- se puede evaluar el tonelaje en el espacio de algunos meses.

Desgraciadamente, los yacimientos filonianos que nos interesan en este caso, presentan siempre un yacimiento de forma compleja y esta característica, unida a la profundidad de los cuerpos mineralizados, explica la relativa lentitud del reconocimiento del tonelaje.

La forma de los cuerpos mineralizados también presenta interés. Una de ellas, fusiforme, se abre rápidamente y no proporciona al terminar, sino una extensión reducida en la base. Se trata del primer yacimiento reconocido, en que el tiempo y los medios empleados no fueron proporcionales al resultado. En efecto, el estudio del yacimiento de la Faye, durante mucho tiempo el más importante de Francia, ha durado muchos años. Con las técnicas modernas se lo hubiera clasificado en uno o dos años.

Otros cuerpos comienzan modestamente, pero se ensanchan luego. Los yacimientos que más se abren en la base, son los que presentan mayor extensión y -en general- el mayor tonelaje. Se constata al respecto, un decidido progreso desde 1955. Después de la Faye y Bauzot, donde la adquisición de los principales elementos para la evaluación del tonelaje ha durado dos años, les Brosses exigirá un mínimo de tres años y le Ruauux seguramente más aún.

El ritmo de sucesión de las filiaciones, lento al principio, se acelera gradualmente y desde 1955 se alcanza un recubrimiento importante de unas por otras. Esta aceleración demuestra el aumento de los medios materiales, en general, y particularmente el de los medios para prospección de tallada, que proporciona en el comienzo más descubrimientos y en consecuencia, más elección para las fases siguientes.

Conclusión referente al ritmo de la sucesión de las actividades

Hemos visto que el tiempo necesario para llegar a la localización del primer indicio al descubrimiento de los yacimientos podía variar entre algunos meses y tres años. Hemos observado luego, que de este estado a la adquisición de los primeros elementos de tonelaje, podía transcurrir aún un período de dos años. Agregando el tiempo necesario para el reconocimiento del tonelaje global, resulta necesario un período de 5-10 años, para ello; este período varía según la importancia del yacimiento.

El ritmo del descubrimiento, sufre considerablemente la influencia de los medios materiales. La duplicación del efectivo de investigación de su

perficie en 1955, ha producido dos o tres veces más descubrimientos que los años precedentes, mientras que la incidencia sobre los gastos totales de la División de Grury es insignificante. En consecuencia, el empleo de un equipo de prospección bien provisto, en el seno de una división minera, garantiza una mejora neta de su vitalidad, a expensas de un gasto relativamente reducido.

Nociones de los costos

1ª.- Costo de la actividad.- La base del cálculo es la adoptada en 1957. Dado el alejamiento de la mayor parte de los sectores del centro de la División, estos precios son relativamente elevados, y en condiciones más favorables, sería posible reducirlos en un 25%, a partir del estado de la prospección detallada.

TECNICA	COSTOS (En francos)
Prospección general "carbórne"(por km2) . .	2.500
Prospección general 250 m (incluso hidro- química) por km2.	7.000 a 15.000
Prospección detallada 25 m (por km2).	82.900
Mapas radiométricos 5 m (por hectárea)	4.700
Geofísica por resistividad (hectárea).	9.600
Geoquímica de los suelos (hectárea)	3.000
Excavaciones (m 3)	3.700
Sondeos (metro prof.)	7.000

2ª.- El estudio que exponemos presenta un valor en la medida en que los trabajos están en vías de terminación. Es el caso del Morvan, donde en efecto el estado de reconocimiento está muy adelantado.

Dada la sucesión regular y en cierto modo sincronizada entre las diferentes fases de la investigación de superficie y de fondo, nos parece interesante indicar el costo global de nuestros trabajos en el Morvan, por kilómetro cuadrado de prospección general. En este estudio hemos tomado como base de correlación entre las diferentes fases, el valor medio de 1951-1957.

Así, hemos gastado en 1957, por km2 de prospección general, por trazo geológico y radiométrico (en francos 1957):

- 87.000 francos por la superficie (prospección general detallada sistemáticamente y laboreo, es decir, 20% ;

- 83.000 francos por sondeos, es decir, 19%;
- 265.000 francos por trabajos mineros de investigación y de reconocimiento, es decir 61%.
- 435.000 francos para la totalidad de las actividades.

Abandonando ahora el cuadro de Morvan por el más reducido, de las zonas mineralizadas y sus alrededores, es decir, por regiones recorridas por prospección detallada y localmente, por las fases siguientes, la ventilación de los gastos totales de investigación por kilómetro cuadrado de prospección detallada resulta en: (deduciendo previamente la prospección general):

- 290.000 francos por la superficie;
- 275.000 francos por sondeos;
- 880.000 francos por trabajos mineros;
- 1.445.000 francos por total de las actividades.

De modo que se ha gastado al 1° de enero de 1958, en todo el Morvan, la suma de 435.000 francos por kilómetro cuadrado de prospección general, o 1.445.000 francos por kilómetro cuadrado de prospección detallada.

Considerando que esta región, cuyo reconocimiento está muy adelantado, justifica aún un volumen de trabajos que llegará a un 20-30% de los trabajos ya efectuados, podemos reconocer que esta región, que cubre aproximadamente 4.000 km² habrá costado la cantidad de 500.000 fr - 600.000 fr el kilómetro cuadrado. Por lo demás, admitiendo que la explotación se reduce a la de los distritos mineralizados, previamente delimitados, lo que hace falta será una suma de 1.700.000 - 1.800.000 fr (en francos 1957).

Para darse cuenta del interés global de la operación, sería interesante dar el precio de costo de cada fase investigatoria, por tonelada de metal. Desgraciadamente, el tonelaje global del mineral explotable no ha sido aún establecido en forma bastante exacta como para servir de base a esta evaluación.

CONCLUSIONES GENERALES

Este método ha sido puesto a punto dentro del margen de una de las más antiguas divisiones de la C.E.A. donde los trabajos de investigación están actualmente muy adelantados y donde una cantidad de pequeños yacimientos explotables han sido descubiertos y registrados.

El estudio abarca ante todo la presentación de la región, luego la de las diferentes fases del método de busea de uranio, tal como ha sido puesta a punto dentro del cuadro de una división minera durante doce años. Se ha observado que entre las técnicas expuestas, la radiometría es el elemento

to preponderante del método moderno. Sin embargo, es posible que el futuro sea propicio a técnicas nuevas, como la geoquímica y la geofísica, cuya importancia puede aumentar a medida que la exploración y la explotación de los indicios lleguen a ser problemas más complejos.

Se ha efectuado un estudio más especial de la prospección general, para la que se ha presentado el problema de la adaptación a las condiciones del terreno y de la malla de prospección, más favorable al adelanto, sin sacrificar algo del objetivo perseguido.

Luego se han expuesto las características salientes de la evolución de los trabajos, tratando de desligar su ritmo y su superposición. Se ha podido así, establecer ciclos para cada yacimiento importante, o para cada grupo de yacimientos. Estos ciclos parten del descubrimiento de los primeros indicios de una nueva zona mineralizada, hasta la evaluación del tonelaje; hemos visto que es necesario un plazo mínimo de 5 años, con las posibilidades materiales de la división Grury, para permitir tener una idea del tonelaje en los yacimientos hidrotermales.

Finalmente se han presentado los costos de cada una de las operaciones y el costo global por kilómetro cuadrado de prospección general, y por kilómetro cuadrado, de prospección detallada. Hemos visto en esa forma, que una suma del orden de 500.000 francos por kilómetro cuadrado sería necesaria para la evaluación del Morvan, en su conjunto, es decir, de una región poco conocida al comienzo. Hemos descubierto, al fin, que la suma de 1.700.000 francos por kilómetro cuadrado, puede ser necesaria para valorar una región parecida al Morvan, cuyos distritos mineralizados hayan sido de limitados previamente.

BIBLIOGRAFIA

- (1) H.G.Carrat et J.Berberxier.- Utilisation de la radioactivité pour le triage et l'évaluation d'un gisement d'uranium. Sciences de la Terre, tome VI (1956) N° 3-4, p. 227 à 238 (1958).
- (2) R.Coulomb, M.Goldstein, M.Le Mercier.- L'uranium dans quelques granites français. Geochimica et Cosmochimica Acta, vol. XV, p. 10 à 17 (1958).
- (3) A.Lenoble.- Méthode de recherche et d'étude des gîtes urifères. Conférence internationale de l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques, Genève, vol. VI, p. 774 à 779 (1955).
- (4) R.Vigier et R.Murard.- Les phases successives de la recherche minière. Centenaire de l'industrie minière, p. 19 à 26 (1955).
- (5) A.Lenoble.- Prospection et recherche de l'uranium. Centenaire de l'Industrie minière, p. 113 (1955).
- (6) Auguste et Albert Michel-Lévy.- Notions des cartes géologiques au 1/80.000 d'Autun, Château-Chinon, Avallon, Beaune, Chalon, Charolles.
- (7) Albert Michel-Lévy.- Les terrains primaires du Morvan et de la Loire. Thèse Sciences, Paris (1908).
- (8) A.M.Gangloff, C.R.Collin, A.Grimbert et M.Sanselme.- Application des méthodes géophysiques et géochimiques à la recherche de l'uranium, Genève, p. 1244 (1958).
- (9) A.H.Lang.- Prospection de l'uranium au Canada. Levés au sol et levés aériens. Conférence Internationale de l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques, Genève, vol. VI, p.765 (1955).

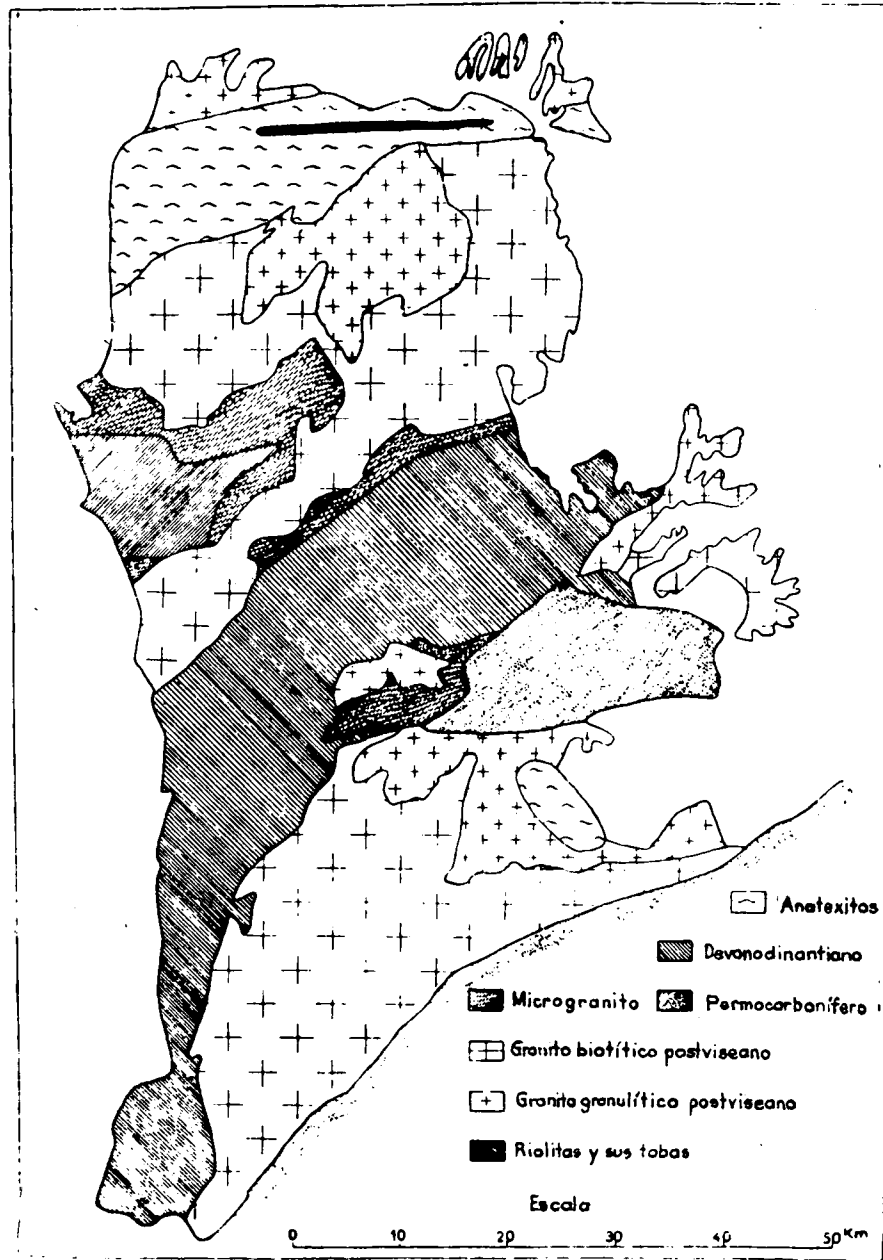


Fig. 1. — El Morvan — Esquema Geológico

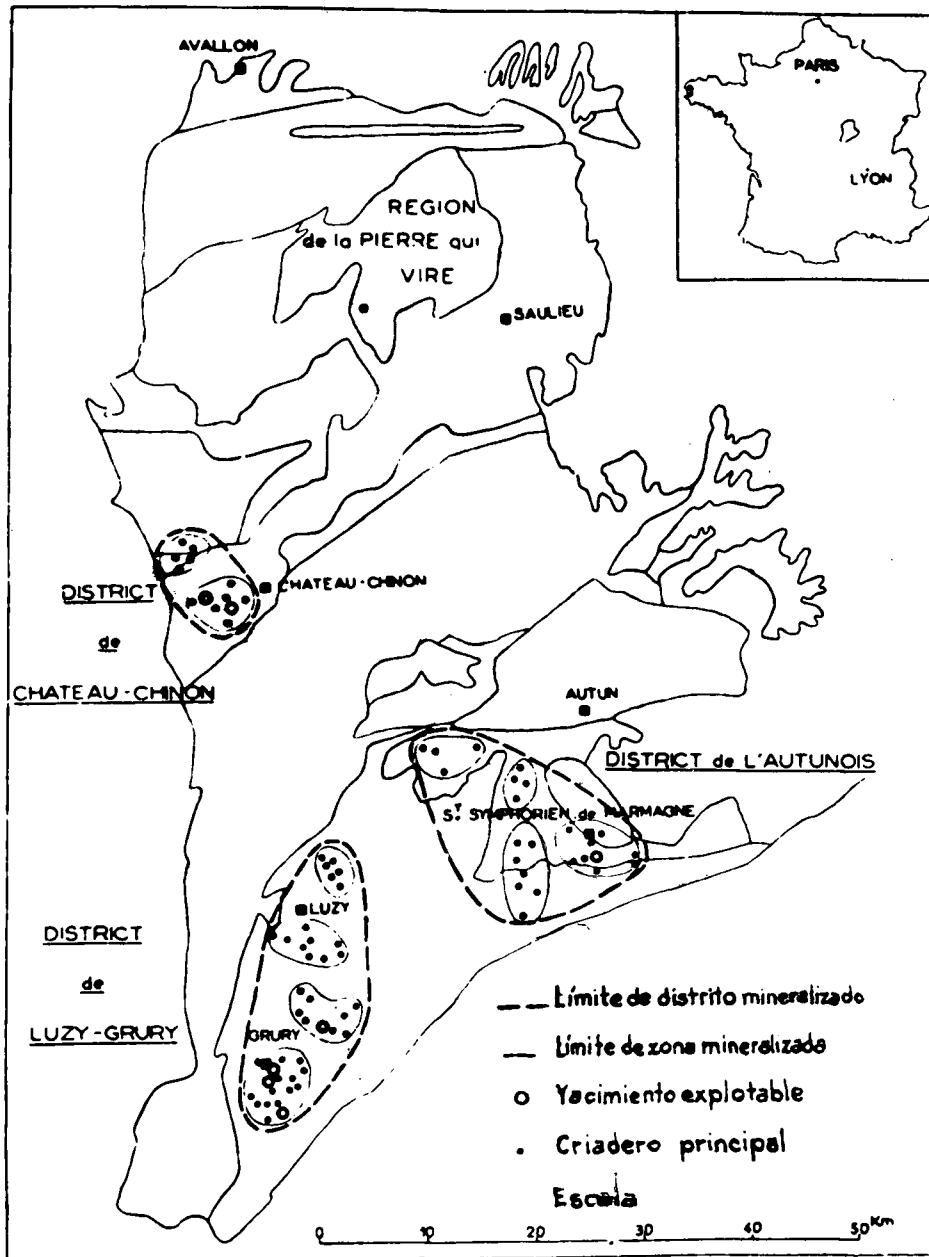


Fig. 2. EL Morvan — Distribución de las zonas uraníferas

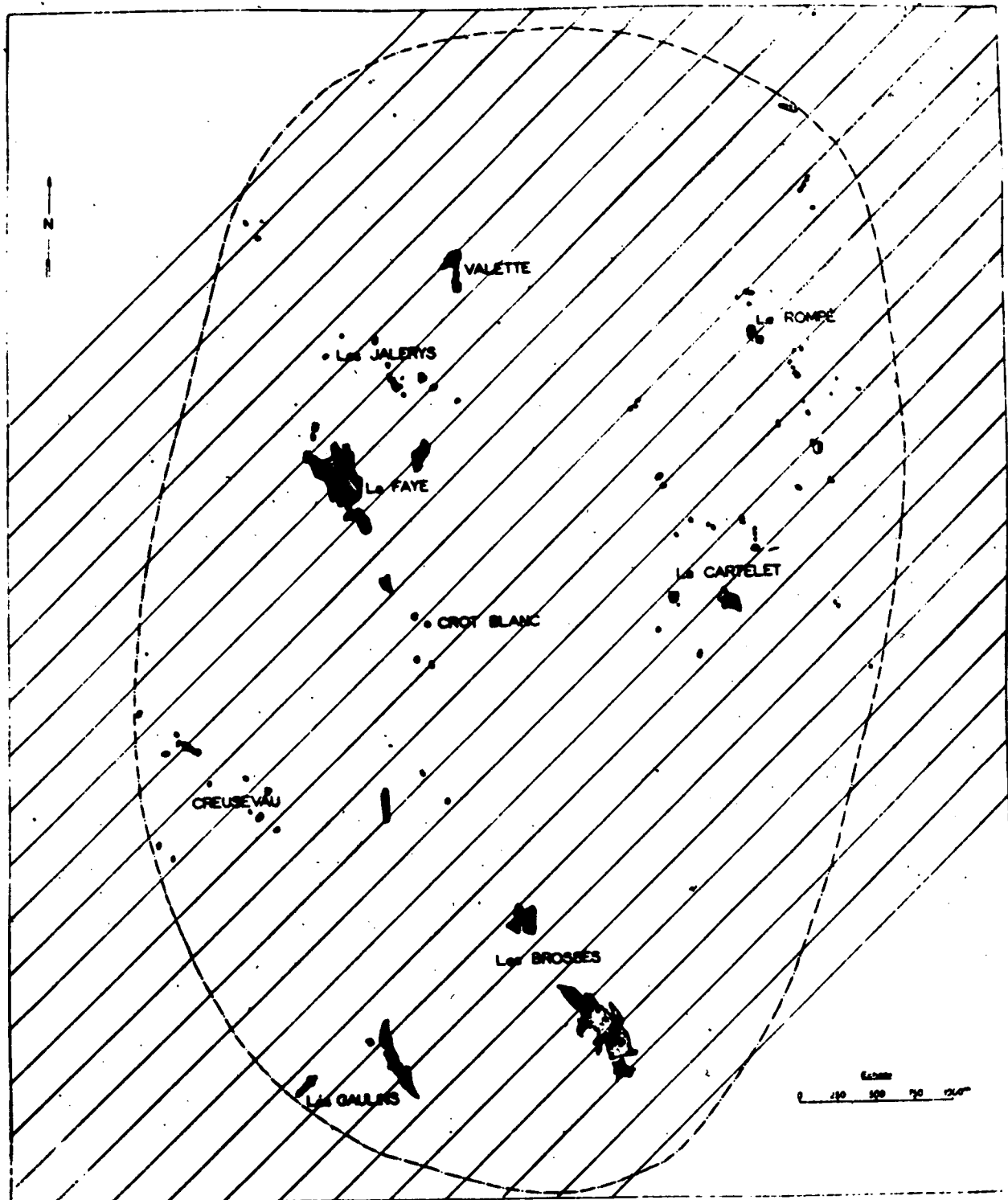


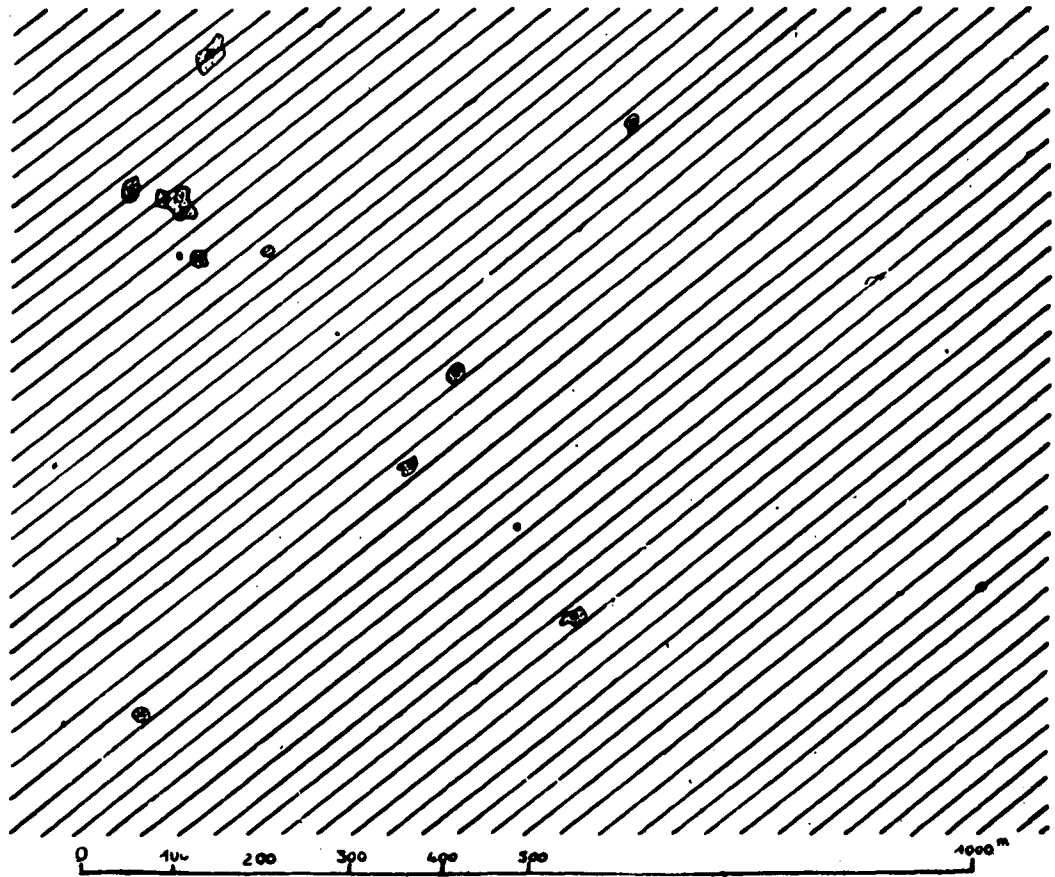
Fig. 4. — Zona mineralizada de la Faye-les-Brosses

LA MÉTHODE DE PROSPECTION DE L'URANIUM DANS UNE DIVISION MINIÈRE



Fig. 5 - L' Huic - Jacques
--- Anomalie unica y recorridos distantes 25 m.
En grisado: superior a 30 cuentas
En negro: superior a 40 cuentas

Fig. 6 - Les Ruux cerca de Saint-Symphorian
Anomalias múltiples para puntuales con recorridos
distantes a 25 m
En grisado: superior a 30 cuentas
En negro: superior a 40 cuentas



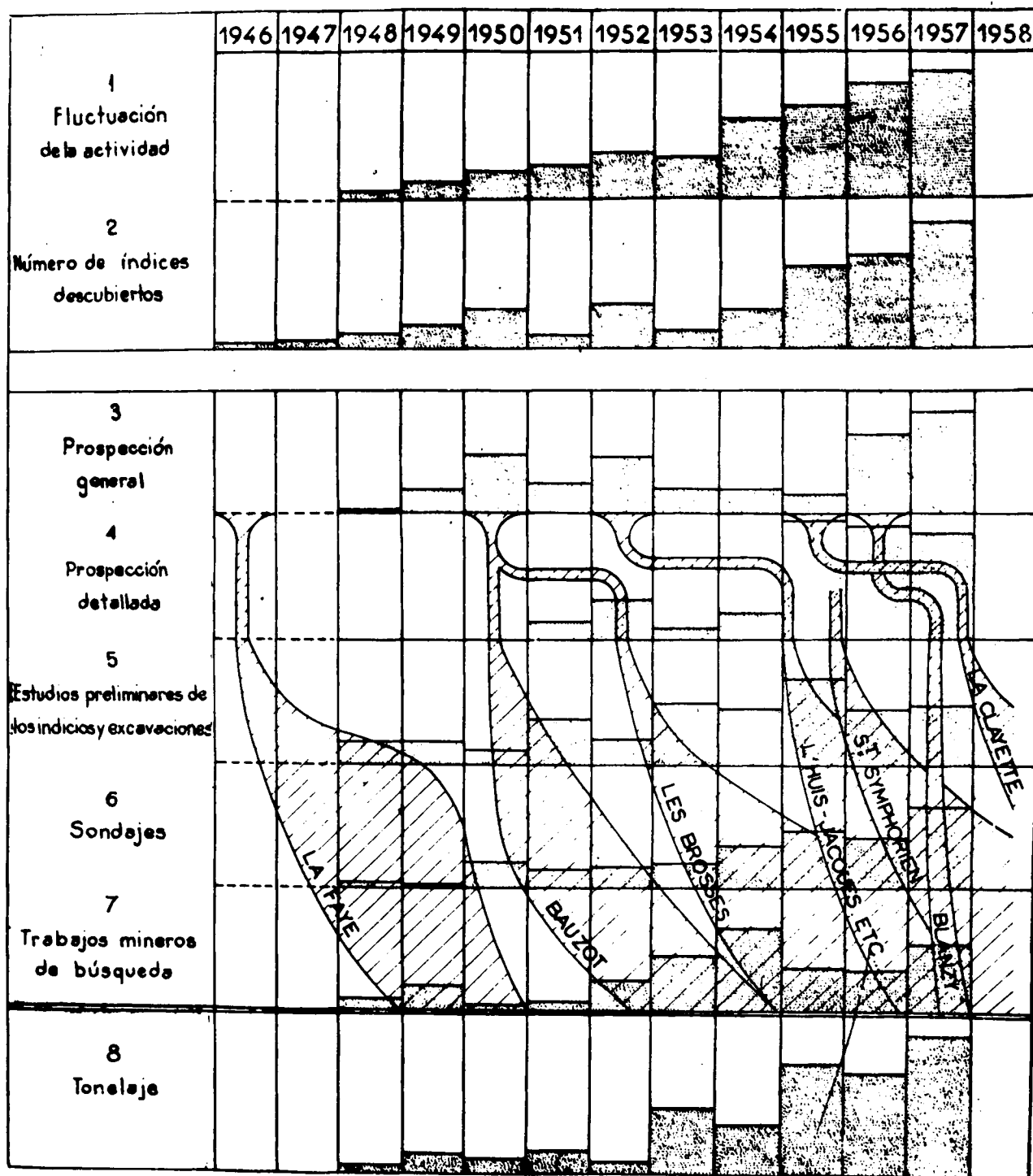


Fig. 7. - Tabla evolutiva de las actividades de la División de Gruby

Gráficos 1, 3, 4, 5, 6 y 7, 1 mm = 500 mega.

Gráfico 2: 1 mm = 3 índices

