

MICROFICHE ETABLI A PARTIR DE  
L'UNITE DOCUMENTAIRE  
N

جديدة منجزة حسب الوثيقة  
رقم:

019284

ROYAUME DU MAROC

المملكة المغربية

المركز الوطني للتوثيق  
CENTRE NATIONAL DE DOCUMENTATION

SERVICE DE REPROGRAPHIE  
ET IMPRIMERIE

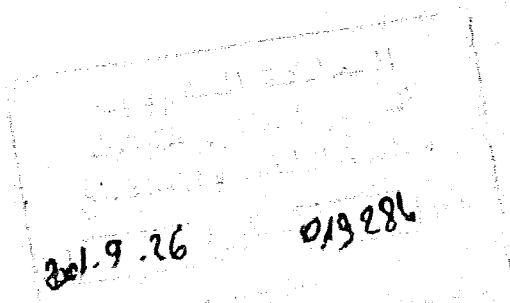
BP 828 RABAT



مصلحة الطباعة والتصوير  
ص.ب 828 الرباط

F

1



## Répartition de l'uranium dans les niveaux phosphatés Maastrichtien supérieur - Eocène inférieur, de la partie occidentale du bassin des Gantour (Maroc occidental). Derniers résultats

par  
Jean-Paul JEANMAIRE \*

**Résumé :** 1400 échantillons phosphatés, prélevés dans des puits et des sondages de la partie occidentale du gisement des Gantour ont été analysés pour U et  $P_2O_5$  et ont permis d'établir des cartes de répartition de l'uranium niveau par niveau, de calculer les teneurs moyennes par niveau et par recette et de définir les corrélations entre les deux éléments.

La répartition verticale de l'uranium suit les évolutions du milieu de sédimentation de la série phosphatée et notamment les modifications du dynamisme des eaux au cours du temps, les teneurs moyennes en uranium diminuent régulièrement à l'intérieur de chaque mégasequence positive.

Le rôle des facteurs primaires et secondaires sur la répartition de l'uranium est ensuite examiné. Il est difficile de déterminer l'influence exacte de chacun des nombreux facteurs primaires sur la fixation de l'uranium dans l'apatite, mais il semble que la quantité d'uranium syngénétique dépende pour l'essentiel de la teneur en  $P_2O_5$  de la roche et que la teneur en uranium des niveaux les plus riches en phosphate n'a guère dépassé 100 ppm.

Des facteurs secondaires modifient la répartition primitive de l'uranium :

- L'altération météorique des phosphates à l'affleurement, qui procède par lessivage et dépôts successifs, permet des enrichissements intéressants (en moyenne 1,5 fois la teneur normale);
- L'altération souterraine par circulation de nappes est plus modérée et aboutit, dans les zones à fort débit aqueux, à des enrichissements moindres.

### INTRODUCTION

Pour la réalisation de son programme électro-nucléaire, le Maroc peut disposer de ses propres ressources en combustible, par extraction de l'uranium des phosphates. La bonne gestion de son projet de récupération de l'uranium nécessite une connaissance préalable du contenu uranifère des gisements phosphatés.

La présente note, sur la répartition de l'uranium dans les niveaux phosphatés de la partie occidentale du bassin des Gantour, vient compléter celle publiée récemment à l'occasion des journées géologiques marocaines (Jeanmaire, 1983). Cependant, avant de présenter les derniers résultats, il n'est peut-être pas inutile de rappeler quelques données géologiques et économiques de base afin de situer ce travail dans un contexte plus général.

L'intérêt des formations phosphatées comme source d'uranium, fréquemment souligné dans la littérature

\* Direction de la Géologie, Rabat

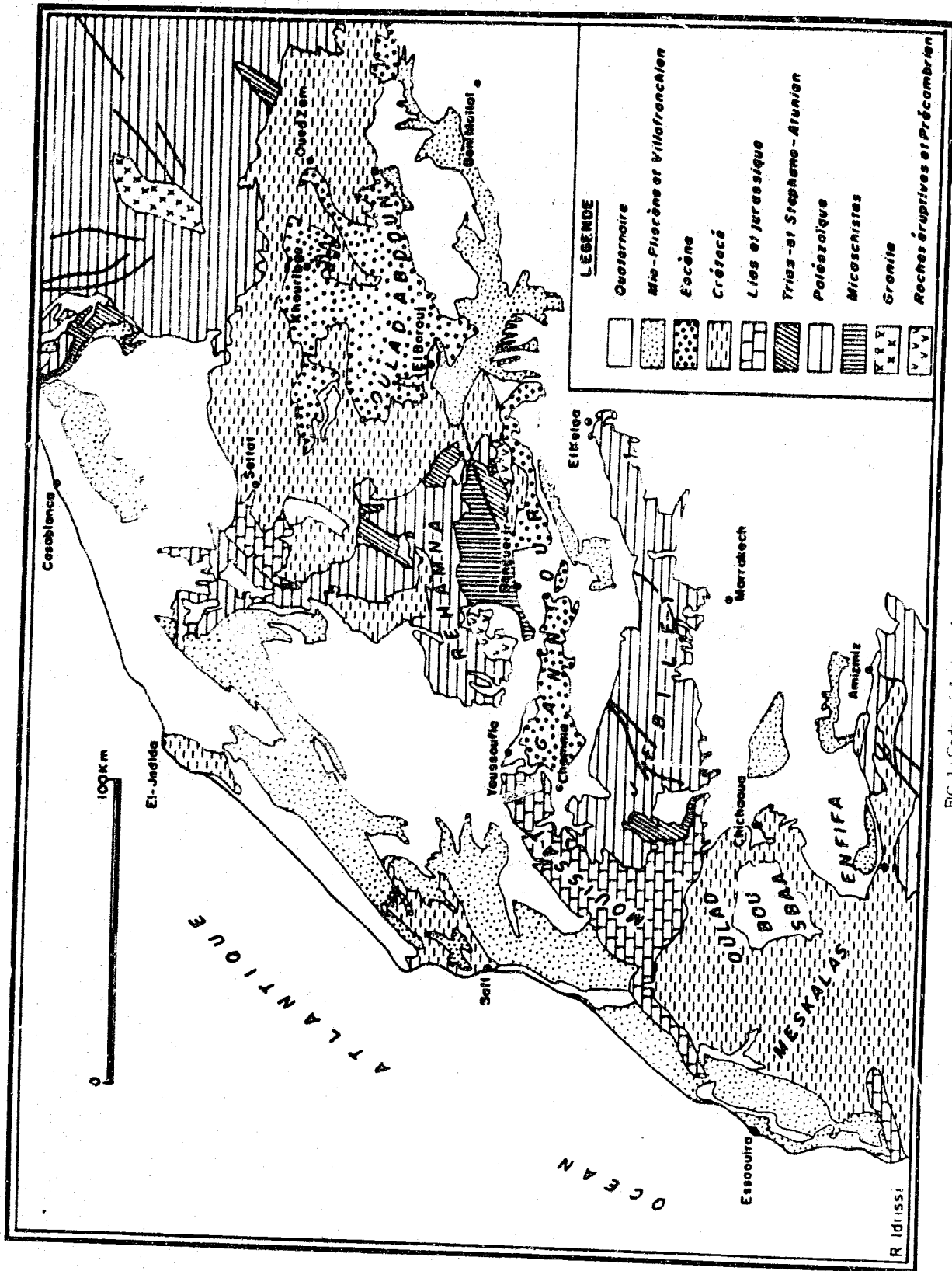


FIG. 1 - Cadre géologique du bassin des Camtours

(Slansky, 1977), est double : en effet, bien que faiblement concentré dans les phosphates, l'uranium peut être récupéré comme sous-produit de la fabrication de l'acide phosphorique par voie humide et, de plus, les gisements phosphatés peuvent contenir des concentrations secondaires en uranium assez riches pour être directement exploitables. Les exemples fournis à travers le monde sont nombreux, le plus spectaculaire est certainement celui du gisement de Bakouma, en République centrafricaine, où les teneurs en uranium peuvent atteindre 5600 ppm (Gony, 1971).

On mesure mieux l'intérêt de l'étude de la répartition de l'uranium dans les gisements marocains quand on sait, d'une part, que le Maroc, avec quatre grands gisements phosphatés, dispose d'environ 75 % des réserves mondiales de phosphate et, d'autre part, que sa production dépassant les 20 millions de tonnes, le place en tête des pays exportateurs.

En prenant 100 ppm d'U comme teneur moyenne des phosphates exploités, on s'aperçoit que 200 t d'U sont ainsi perdues chaque année. Il faut cependant noter que la récupération de l'U n'est techniquement réalisable qu'après conversion du phosphate en acide phosphorique

et que la production marocaine d'acide phosphorique reste faible malgré les développements importants réalisés récemment. L'importance croissante de l'acide phosphorique sur le marché des phosphates ouvre cependant à la récupération de l'uranium des horizons prometteurs. Cette opération est d'ores et déjà rentable et en 1980, 7 usines de traitement fonctionnaient sur le continent américain (U.S.A, Canada et Chili) avec une production globale de 700 t/an.

Au Maroc, le Commissariat à l'Energie Atomique français, à partir de 1946, puis la Société Marocaine de Recherche et d'Exploitation Minière, entre 1951 et 1954, entreprenaient déjà des prospections pour l'uranium dans les gisements phosphatés du domaine nord-atlasique, en particulier dans les régions de Khouribga, Oued-Zem et de Youssoufia (Magez, 1956). Beaucoup plus tard, en 1976, le Bureau de Recherches et de Participations Minières étudiait, dans le bassin des Meskala, les minéralisations secondaires d'uranium situées en dehors des niveaux phosphatés (Jeanmaire & al., 1976, 1977). Toutes ces études, qui n'ont qu'un caractère partiel et local, montraient toutefois la grande diversité de la distribution de l'uranium, une étude plus systématique des gisements phosphatés s'imposait.

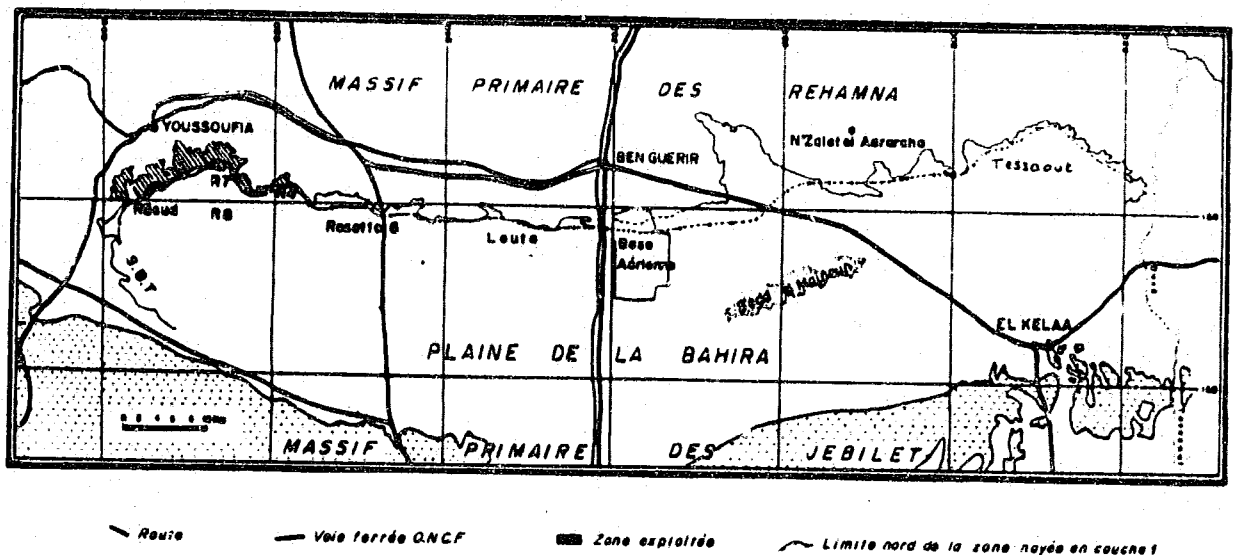


FIG. 2 : Le bassin des Ganttour, localisation des recettes étudiées

CADRE GEOLOGIQUE

Le bassin phosphaté des Ganntour, situé dans la Méséta marocaine, à 150 km au Sud de Casablanca (fig.1), correspond morphologiquement à un plateau grossièrement rectangulaire, orienté Est-Ouest, de 120 km de long sur une vingtaine de large. Il est encadré par deux massifs hercyniens, les Rehamna au Nord, les Jebilet au Sud. Les collines jurassiques des Moussat constituent la limite occidentale, tandis que l'oued Tessaout marque la limite orientale (fig.2). La géologie de ce vaste gisement de phosphates est bien connue depuis les travaux de Boujo (1976).

La série phosphatée, d'âge Maastrichtien supérieur - Eocène inférieur est directement transgressive sur le socle hercynien, au Nord, où elle affleure. Elle est composée d'une succession de niveaux plus ou moins riches en phosphates, séparés par des intercalaires, marneux, calcaires, argileux ou encore siliceux ; les niveaux phosphatés admettent souvent en leur sein, des bancs ou des lits de ces mêmes faciès (fig. 3). Selon la nomenclature établie par l'Office Chérifien des Phosphates (OCP), la succession des niveaux phosphatés, énumérée de bas en haut, est la suivante : couches 6, 5, 4, 3, 2, sillon X (Maastrichtien supérieur); couches 1,0 (Montien) ; couche 0', sillon A (Thanétien) ; couche de 11 m et sillons supérieurs (Yprésien). Les deux seules couches exploitées à Youssoufia sont la couche 1(C.1) et la couche zéro (C.0). Dans la partie occidentale du bassin des Ganntour, à l'Est de la Recette 4 (R.4), la série phosphatée s'épaissit brutalement avec l'apparition de couches inférieures (de la C.6 à la C.3).

Un faible pendage vers le Sud affecte l'ensemble de la série qui s'ennoie sous la dalle à Thersitès (calcaire d'âge lutétien) recouverte à son tour par du Quaternaire. Par ailleurs, on distingue une zone sèche, à phosphates clairs, le long des affleurements et une zone noyée par une nappe phréatique, qui ne contient que des phosphates noirs, riches en matières organiques.

METHODES D'ECHANTILLONNAGE

L'étude a profité des nombreux travaux de recherche de l'OCP (puits, sondages, tranchées) effectués pour la reconnaissance du gisement et l'avancement de l'exploitation. Les 101 puits (de la zone sèche) et les 92 sondages (de la zone noyée) retenus pour l'étude, sont disposés selon une maille approximativement kilométrique ; les sondages implantés à côté des puits

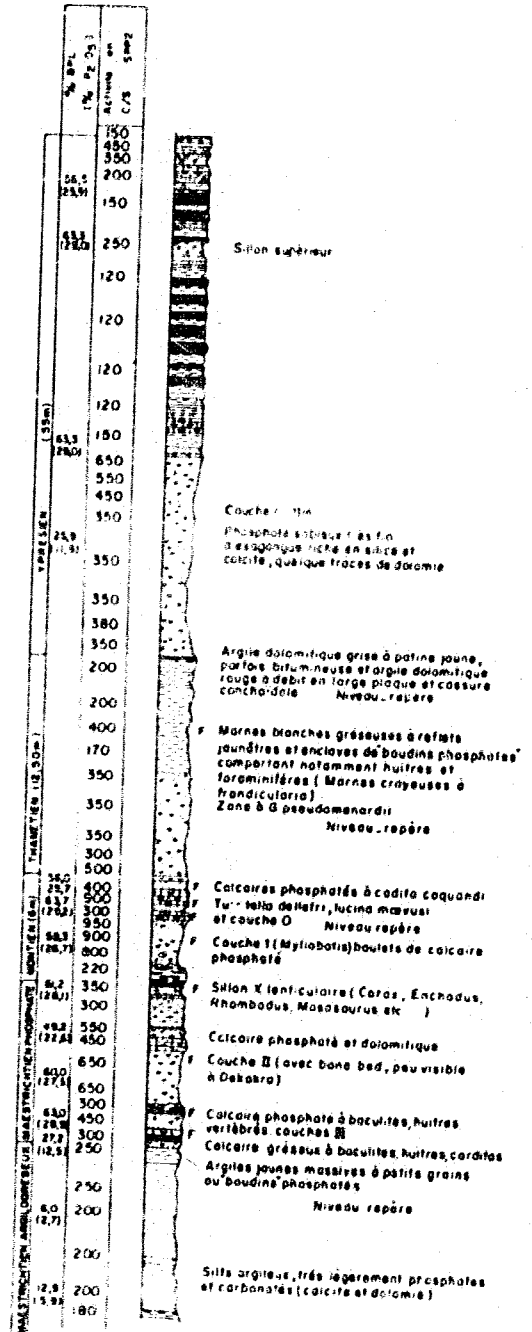


FIG. 3. Coupe lithostratigraphique et radiométrique de la tranchée de Dekarra (Youssoufia)

poursuivent la reconnaissance sous le niveau de la nappe phréatique.

Les échantillons ont été sélectionnés d'après les coupes lithologiques exécutées par l'OCP, en tenant surtout compte de la teneur en  $P_2O_5$  : les niveaux les plus riches en phosphate sont retenus systématiquement, tout en prenant bien soin de compléter l'échantillonnage par une gamme aussi complète et homogène que possible, de tous les autres faciès.

Dans les puits, la radioactivité du parement est mesurée tous les 50 cm à l'aide d'un scintillomètre S.P.P.2, ce qui permet de compléter l'échantillonnage. Celui-ci est effectué après grattage de la partie superficielle, en un certain nombre de points, qui est fonction des changements de faciès et de la puissance de la couche. L'échantillonnage des sondages quant à lui, est réalisé à partir des témoins conservés par l'OCP.

Ainsi, en règle générale, l'échantillonnage est-il plus représentatif pour les niveaux phosphatés riches et

minces (C.1, C.0 par exemple) que pour les niveaux puissants (S.A.C.11m) mais aux teneurs plus variables. D'autre part, les échantillons sont plus ou moins nombreux, selon la taille de la recette qu'ils représentent. Dans ces conditions les teneurs moyennes obtenues n'ont qu'une valeur relative; elles offrent néanmoins une représentativité suffisante pour permettre des comparaisons et suivre aussi les variations de la répartition de l'uranium selon les couches.

#### METHODES D'ANALYSES

Toutes les analyses ont été réalisées aux laboratoires du Ministère de l'Énergie et des Mines. Le  $P_2O_5$  est dosé par colorimétrie ; l'uranium par fluorescence X, selon une méthode spécialement mise au point pour les roches phosphatées par Nejmaoui & coll. (1979), il est exprimé en ppm d'uranium métal avec une précision de plus ou moins 7%. Les analyses de contrôle effectuées dans d'autres laboratoires, selon des méthodes différentes, confirment dans l'ensemble nos résultats.

### Répartition de l'uranium et traitement statistique des analyses

#### LES PRINCIPAUX FACTEURS QUI CONTRÔLENT LA REPARTITION DE L'URANIUM

L'ensemble des cartes examinées en prenant en considération les principales caractéristiques lithologiques

des couches ainsi que leur puissance, permet de faire certaines observations :

- Les couches les plus riches en uranium sont également celles qui sont les plus phosphatées; au sein d'une même couche, les variations régionales des teneurs

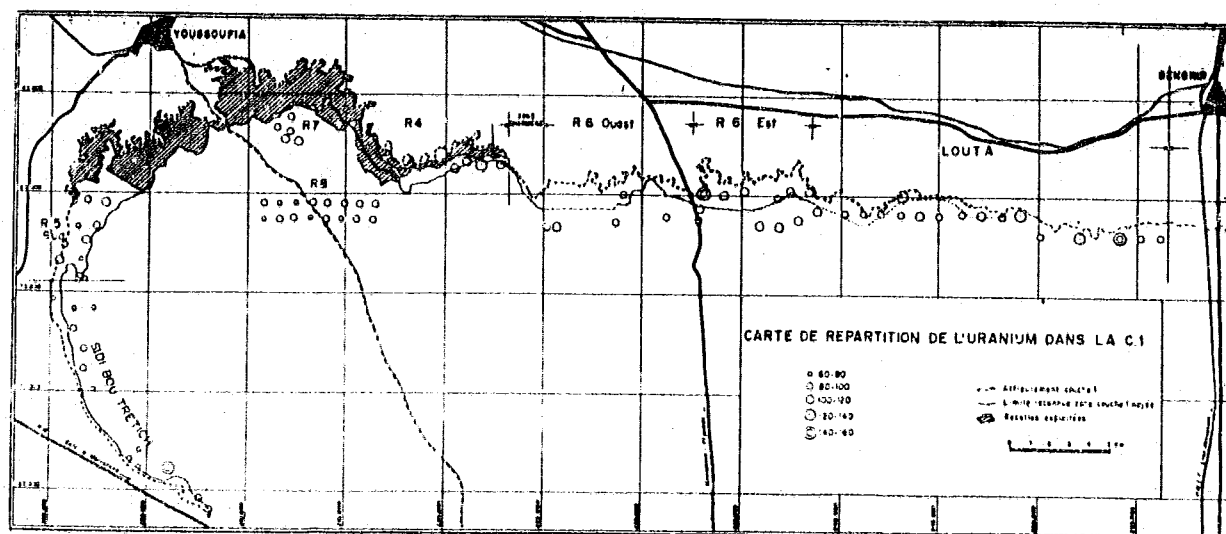


FIG. 4 : Répartition de l'Uranium dans la couche 1

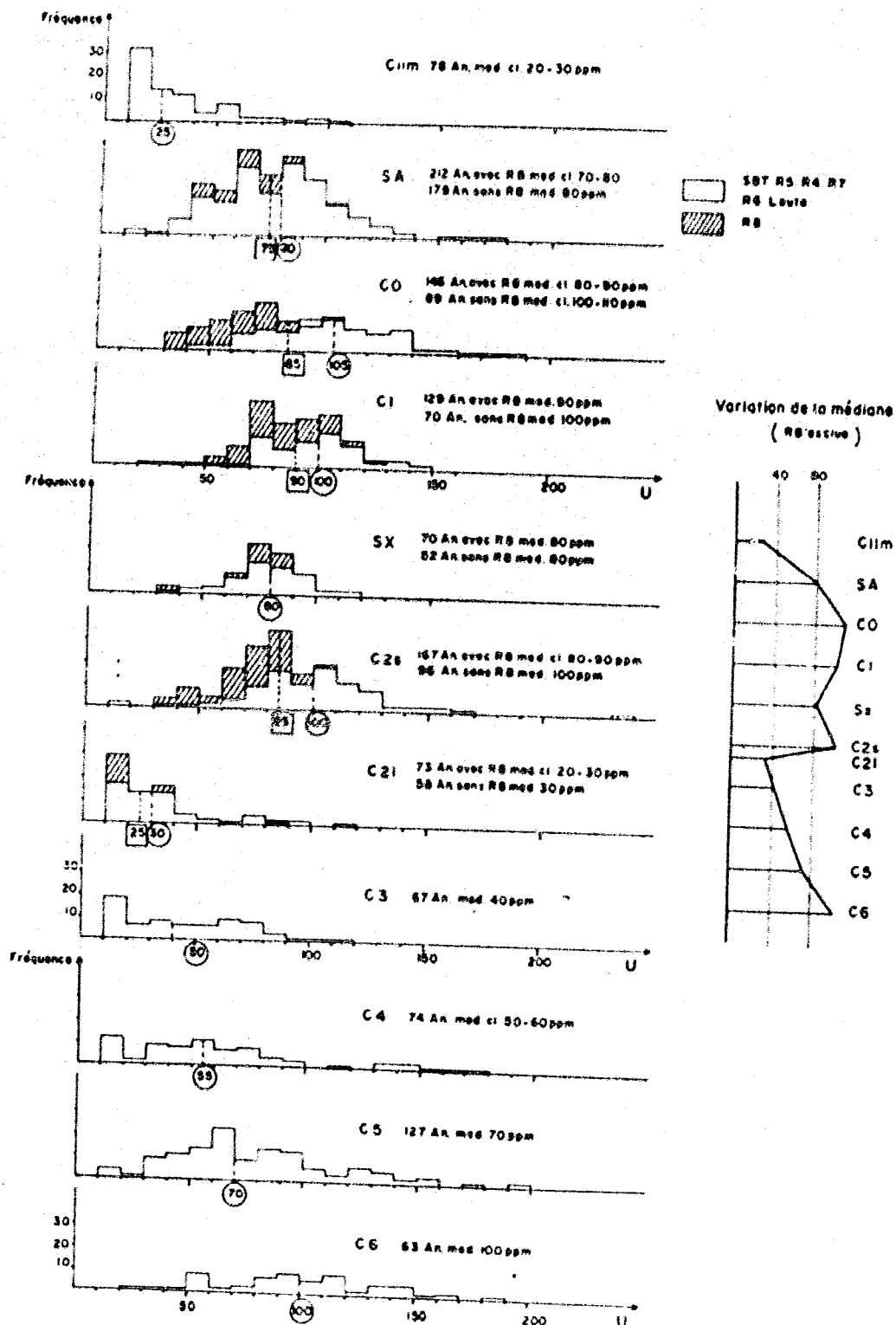


FIG. 5 - Histogrammes des teneurs en uranium des différents niveaux phosphates



en uranium et  $P_2O_5$  sont le plus souvent concomitantes (la liaison uranium -  $P_2O_5$  sera examinée plus en détail à l'aide d'analyses statistiques et de corrélations binaires).

- Ces enrichissements (en U et  $P_2O_5$ ) se font fréquemment du Sud vers le Nord (de Sidi Bou Tritich à la R.5 et de la R.8 à la R.7) et d'Ouest en Est (de la R.6 à Louta), mais les exceptions ne manquent pas;

- L'augmentation simultanée des teneurs en U et  $P_2O_5$  peut être liée à l'amincissement des couches phosphatées (C.6 et 5 à Louta par exemple) ; là encore les exceptions abondent;

- Les plus fortes valeurs en U sont essentiellement localisées le long des affleurements;

- Le passage du phosphate noir (riche en matière organique) de la zone noyée, au phosphate clair de la zone sèche ne semble pas provoquer d'augmentation sensible de la teneur en U, mais globalement les phosphates clairs renferment indéniablement des teneurs plus élevées.

Ainsi, les facteurs qui jouent un rôle notoire dans la répartition de l'U sont principalement la teneur en  $P_2O_5$  (pouvant elle-même être liée à la puissance de la couche, ainsi que l'avait déjà remarqué Boujo, 1976) et la situation spatiale de la couche par rapport à la surface d'une part et à la limite zone noyée - zone sèche d'autre part.

#### TRAITEMENT STATISTIQUE DES ANALYSES

##### HISTOGRAMMES DE FREQUENCE DES TENEURS EN URANIUM PAR NIVEAU PHOSPHATE

La figure 5 regroupe les histogrammes de fréquences des teneurs en uranium de tous les niveaux phosphatés, de la C.6 à la C.11m; elle permet de faire les observations suivantes :

- Les échantillons de la R.8, distingués par des brachures, sont nettement plus pauvres que ceux des autres recettes ;

- La dispersion des valeurs est particulièrement importante pour les couches inférieures (de moins de 25 ppm jusqu'à 200 ppm). Elle traduit les extrêmes variations de la teneur en  $P_2O_5$ , mais il ne faut pas oublier aussi que les plus fortes teneurs proviennent de la zone d'affleurement ;

- En revanche, le S.X qui présente des caractéristiques lithologiques, des teneurs en  $P_2O_5$  et une puissance

assez uniforme, offre la plus faible dispersion ;

- La moyenne géométrique des teneurs en U (abstraction faite des échantillons plus pauvres de la R.8) permet de classer les couches selon leur richesse : les plus riches sont la C.0 avec 105 ppm, les couches 6, 2s et 1 avec 100 ppm, S.A et S.X avec 80 ppm, etc.

##### TENEURS MOYENNES EN URANIUM DES NIVEAUX PHOSPHATES SELON LES RECETTES

Le découpage par l'O.C.P du gisement en nombreuses recettes, répond au besoin de délimiter des secteurs à l'intérieur desquels les couches phosphatées présentent un maximum d'homogénéité de teneur, de puissance, de faciès, etc. La teneur en U de chaque recette pourra refléter l'influence de ces facteurs.

Lorsque dans un même endroit, plusieurs échantillons sont issus du même niveau, leur teneur moyenne a d'abord été calculée. C'est ensuite seulement à partir des moyennes primaires ainsi obtenues qu'ont été calculées les moyennes reportées graphiquement sur les figures 6 et 7. Sur la figure 6, où sont représentées les teneurs moyennes en U, on a horizontalement, les différentes recettes d'Ouest en Est, la moyenne globale par couche (à l'extrémité) et verticalement la succession des différents niveaux.

- La moyenne la plus élevée est enregistrée dans les sillons supérieurs de la R.4 (144 ppm) mais cette moyenne ne représente que 9 analyses dont l'écart-type est très fort (97);

- Les couches les plus intéressantes sont la C.0 (131 ppm à la R.7, 124 à la R.5, 103 à S.B.T) et la C.1 (118 à la R.4, 101 à la R.6, 104 à Louta); ces couches offrent donc leur teneur maximale dans deux régions différentes; la C.0 dans la partie occidentale, la C.1 dans la partie orientale;

- Dans la R.6 et celle de Louta, on remarque la bonne teneur de la C.2 supérieure (114 et 111 ppm) ainsi qu'un enrichissement des couches inférieures d'Ouest en Est;

- Les recettes méridionales (S.B.T. et R.8) sont les plus pauvres;

- Enfin, les variations de teneurs en fonction des couches se font presque toujours dans le même sens pour toutes les recettes. Ceci traduit l'unicité, sur l'ensemble de la zone étudiée, d'une part, de la source d'uranium (qui comme on le sait est principalement l'eau de mer, Slansky, 1977) et d'autre part des phénomènes remobilisateurs.



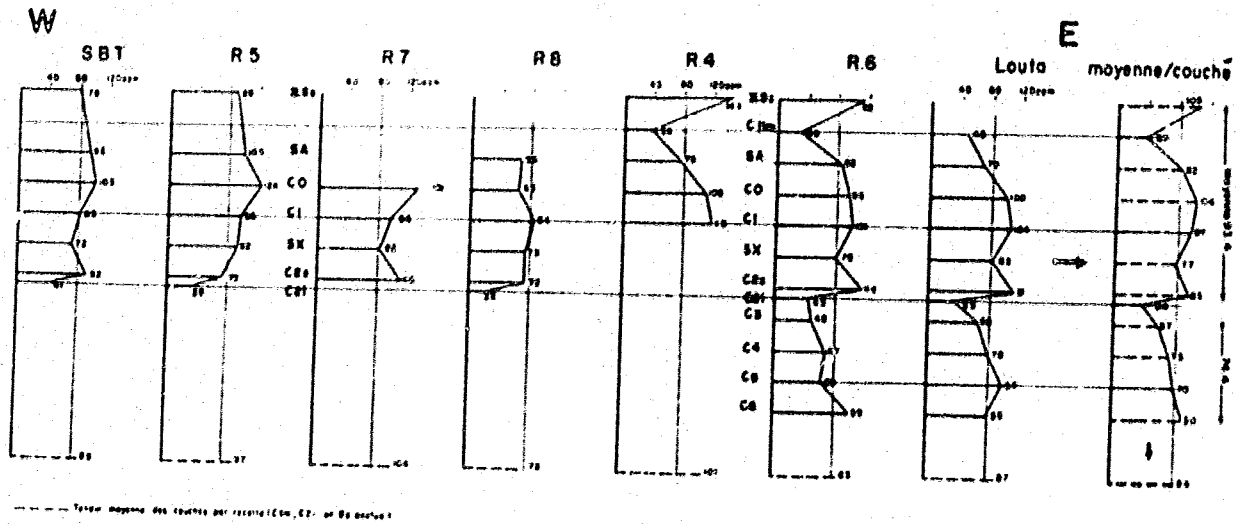


FIG. 6 : Teneurs moyennes en uranium des couches phosphatées selon les recettes.

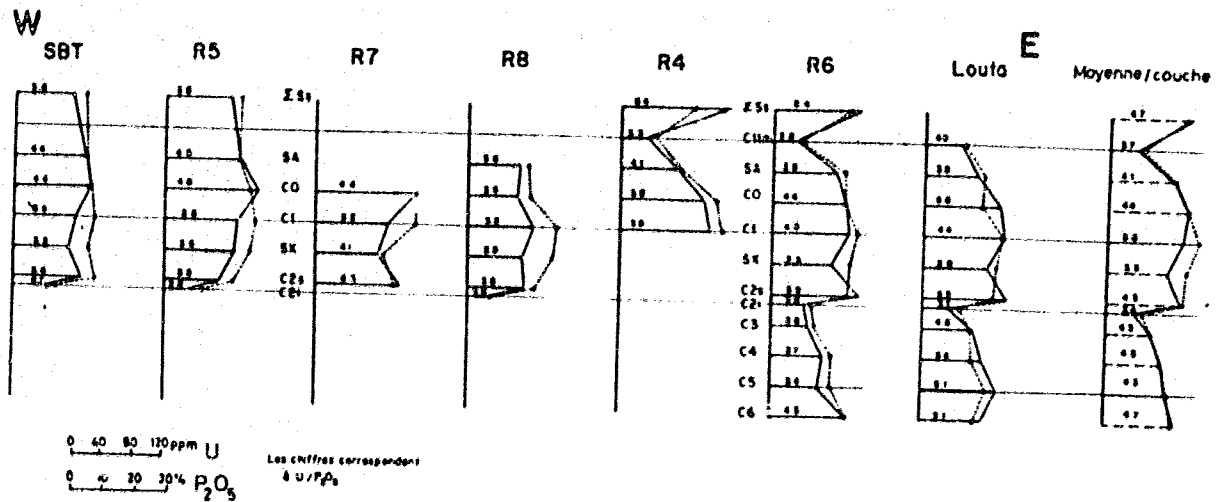


FIG. 7 : Teneurs moyennes comparées en U et en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> des couches phosphatées selon le découpage des recettes.

LIAISON ENTRE U ET P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

La figure 7 permet de comparer directement entre elles les teneurs moyennes en U et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> des différents niveaux phosphatés de chaque secteur. Les moyennes subissent grosso-modo les mêmes variations, indiquant dans l'ensemble une assez bonne corrélation entre les deux éléments ; la corrélation est encore meilleure en prenant les moyennes de toutes les teneurs de chaque niveau (à l'extrémité droite de la figure), les deux courbes se superposent presque parfaitement, sauf pour le S.X et la C.1 qui présentent un déficit en U.

Le rapport U ppm / P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, calculé à partir des moyennes quantifie le contenu uranifère moyen par unité de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Il varie de 2,4 à 6,4 (avec une moyenne légèrement inférieure à 4) et apparaît indépendant de la richesse en phosphate des différents niveaux.

Donc, si une assez bonne corrélation existe, entre les teneurs moyennes en U et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de l'ensemble des niveaux phosphatés, des différences notables du rapport U/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> apparaissent cependant, en fonction des couches et des secteurs concernés. Ces différences peuvent être imputées à des facteurs primaires syngénétiques ou à des

facteurs secondaires qu'on essaiera de préciser ultérieurement.

Considérons maintenant les relations entre les teneurs en U et  $P_2O_5$  des échantillons à l'aide de diagrammes binaires de corrélation (fig.8 à 13). La teneur en U augmente tout d'abord avec la teneur en  $P_2O_5$ ; cette liaison linéaire, loin d'être excellente, reste néanmoins significative, compte tenu de la précision des analyses et des erreurs possibles, jusqu'à des teneurs en U ne dépassant pas 100 ppm; ensuite les teneurs varient de manière aléatoire. La même observation a été faite par Coppens & al (1977), à propos d'échantillons de phosphates jordaniens, pour lesquels la liaison reste linéaire jusqu'à seulement 50 ppm d'U.

La distribution, entre les échantillons superficiels, prélevés dans les 2 ou 3 premiers niveaux phosphatés (à une profondeur ne dépassant toutefois jamais 15m) et les échantillons plus profonds (fig.11) montre que la liaison reste approximativement linéaire pour la majorité des échantillons de la profondeur, leur teneur dépasse rarement 100 ppm; en revanche, les échantillons superficiels sont nettement enrichis et 50 % d'entre eux contiennent plus de 100 ppm. Les histogrammes de fréquence des deux groupes d'échantillons donnent des

moyennes géométriques bien distinctes, respectivement 105 et 70 ppm.

La corrélation entre U et  $P_2O_5$  est grossièrement linéaire pour les échantillons issus d'une profondeur supérieure à 15 m (fig. 12), et pour ceux des sondages de la R.8 (fig. 13). Dans les deux cas, très peu d'échantillons contiennent plus de 100 ppm d'U.

Le rapport  $U/P_2O_5$  varie entre 1,5 et 15 suivant les échantillons. Selon les populations considérées, la médiane des rapports prend des valeurs différentes: 5 pour les échantillons des tranchées (fig.14), respectivement 4,2 et 4 pour ceux des puits et des sondages de Louta (fig. 15); 4 et 3,7 pour ceux de la R.6 (fig. 16) ; 3,5 pour les échantillons des sondages de la R.6 (fig. 14) et enfin 3,3 pour ceux des sondages de la R.8 (fig. 17).

Ainsi en résumé :

- La dispersion des valeurs de  $U/P_2O_5$  et les moyennes géométriques varient parallèlement ; par ailleurs les unes comme les autres sont plus faibles dans les sondages (c'est-à-dire pour les échantillons profonds);
- Dans un secteur donné, les échantillons des sondages présentent un  $U/P_2O_5$  moyen, légèrement plus faible que celui des puits;

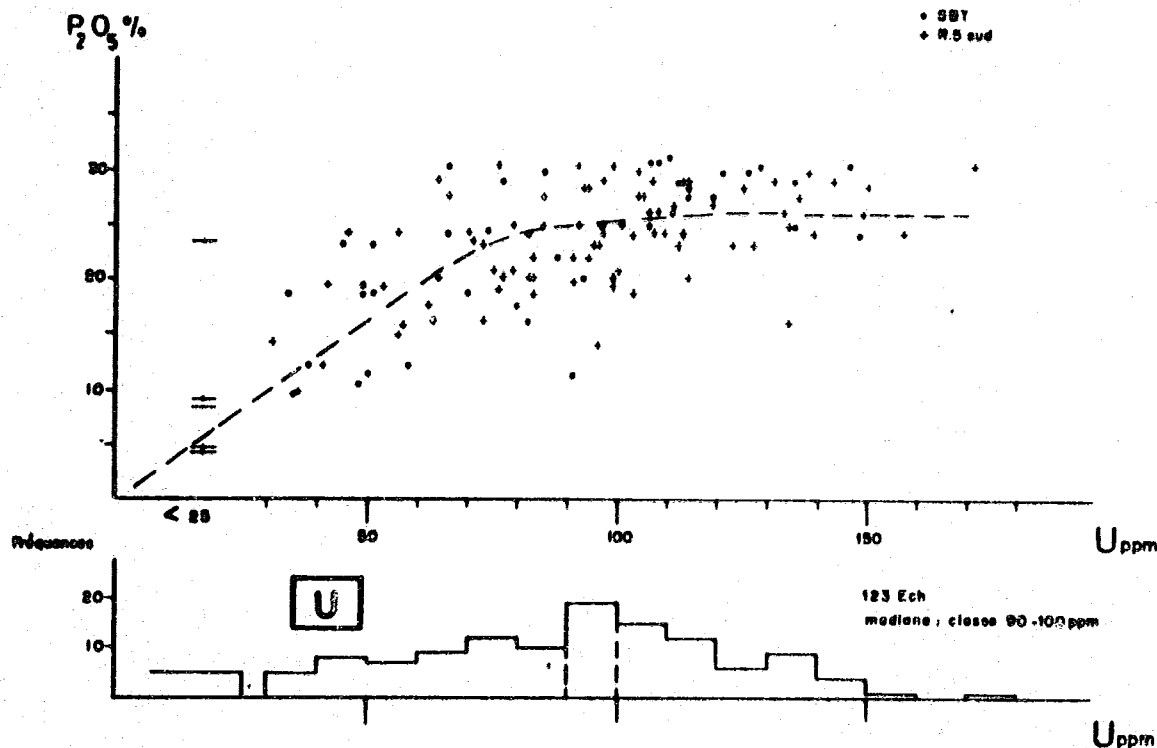


FIG. 8 : Corrélation U -  $P_2O_5$  (puits Sidi Bou Tritich, Recette 5)

- Aucune corrélation n'apparaît entre U / P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et la teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> du phosphate, tout au plus peut-on dire

que les plus fortes valeurs correspondent aux échantillons pauvres en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

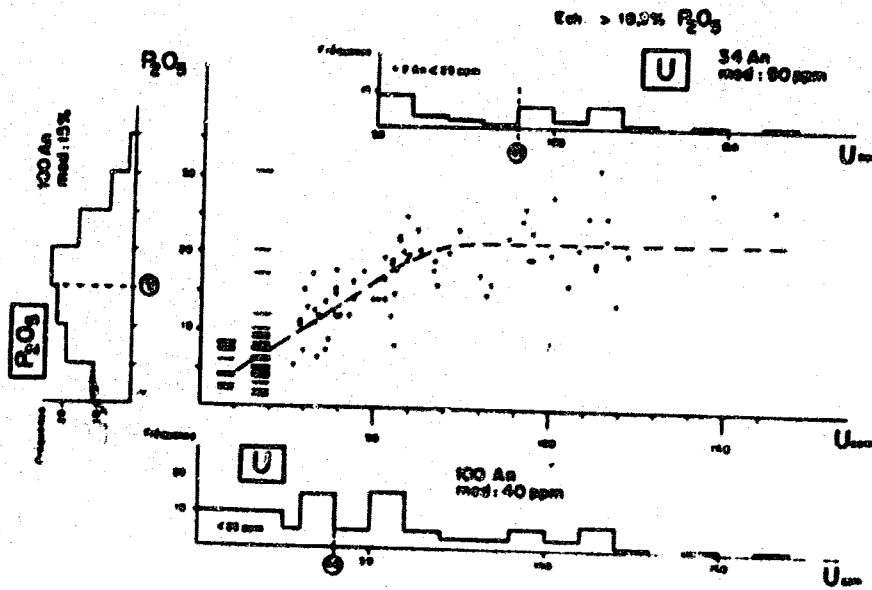


FIG. 9 : Corrélation U - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (sondages Recette 6)

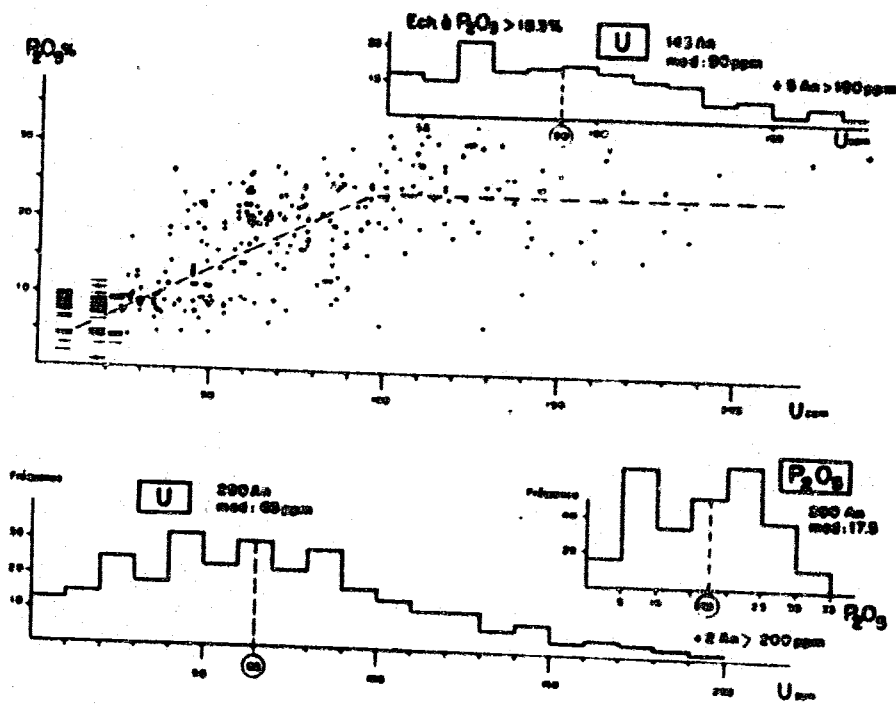


FIG. 10 : Corrélation U - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (puits Recette 4, Recette 6)

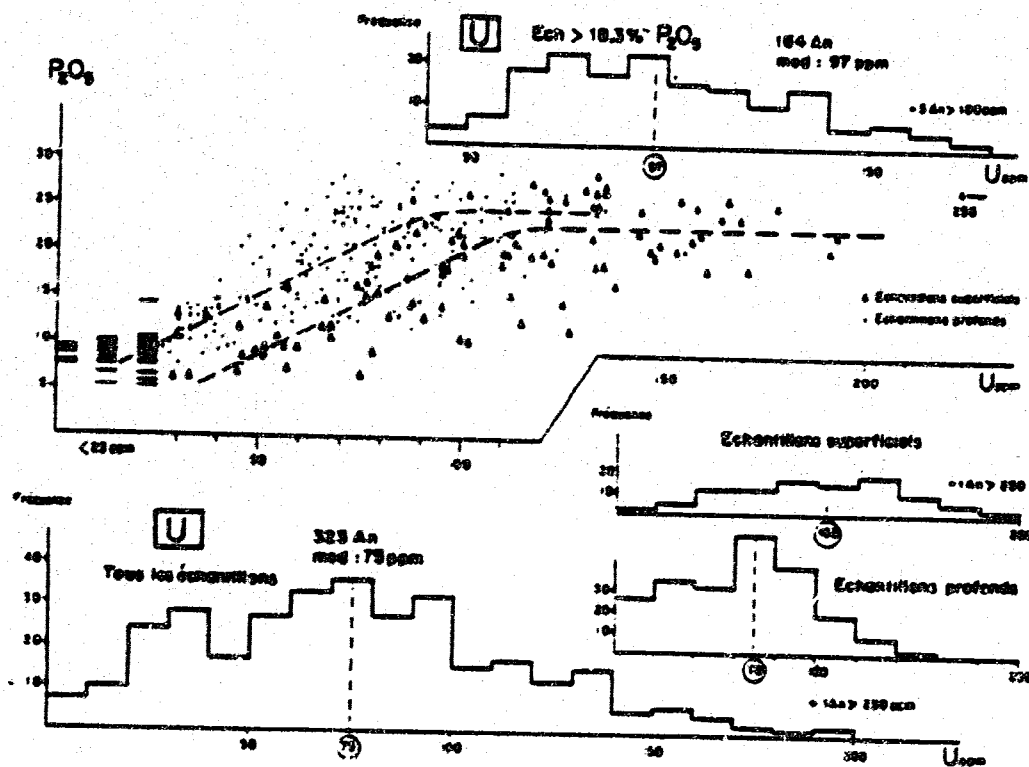


FIG. 11 : Corrélation U - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Louta)

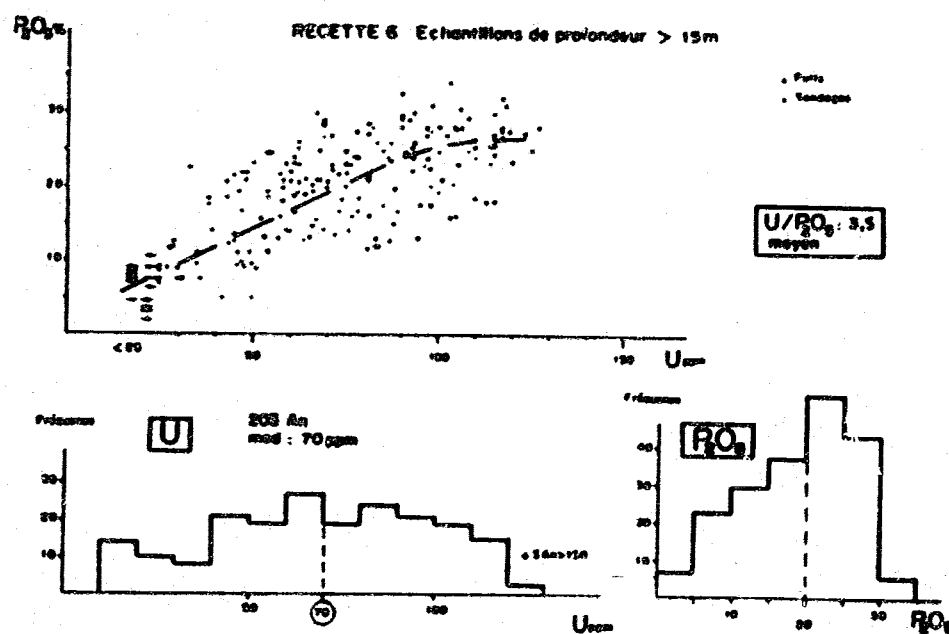


FIG. 12 : Corrélation U - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Recette6, échantillons de profondeur supérieure à 15 m)

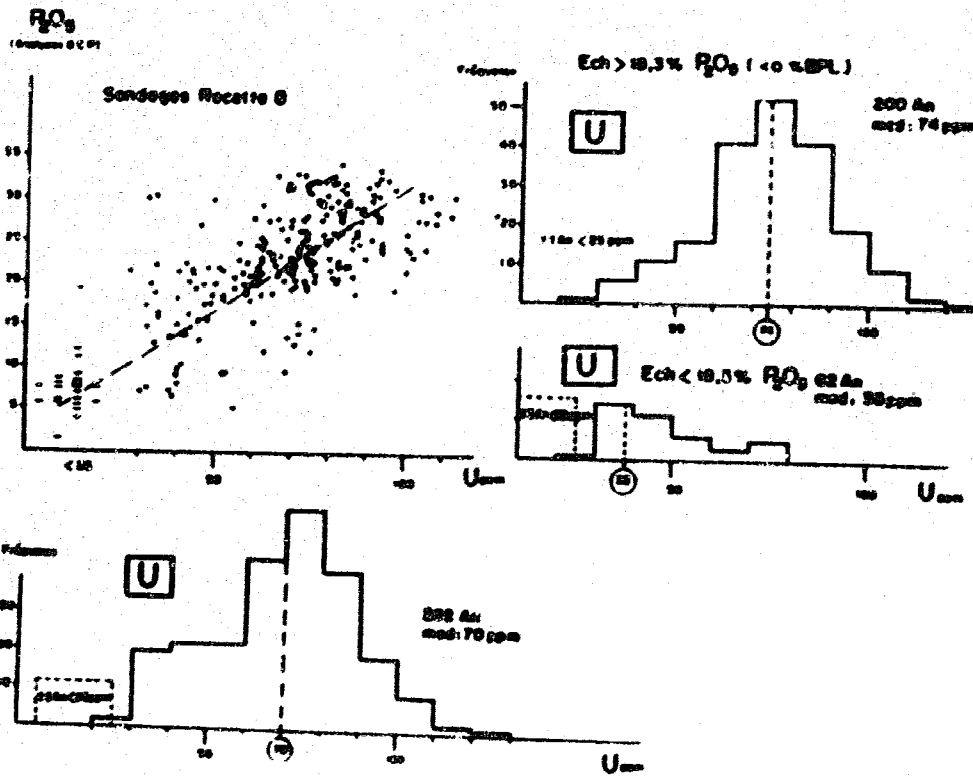


FIG. 13 . Corrélation U - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Sondages Recette 8)

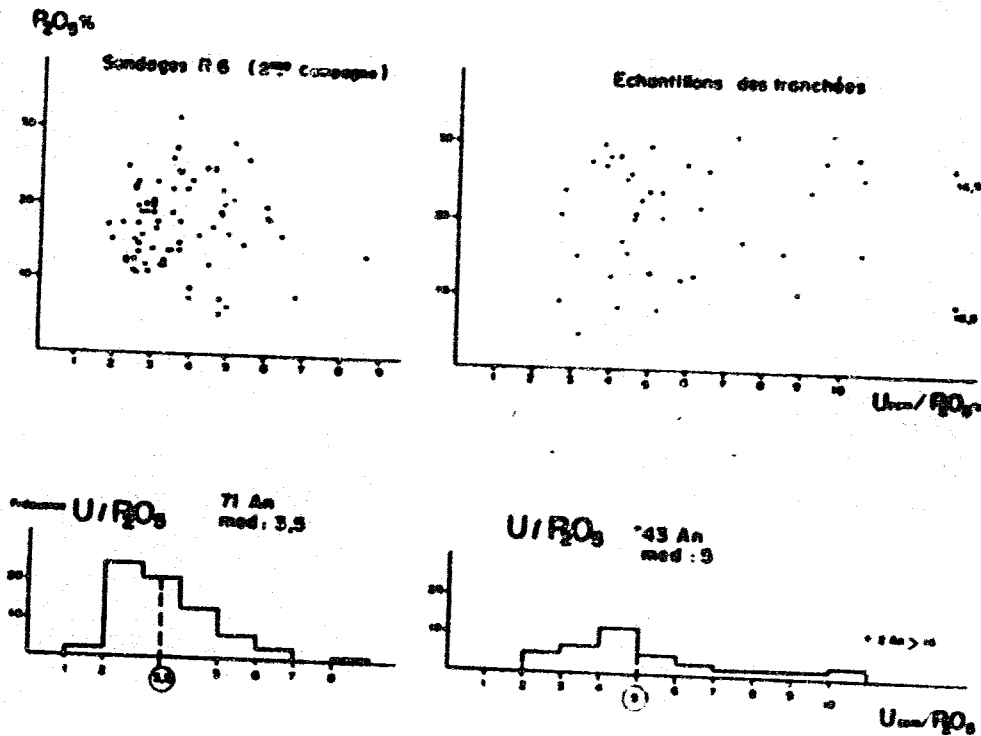


FIG. 14 : Relation U/ P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Sondages Recette 6 et échantillon des tranchées)

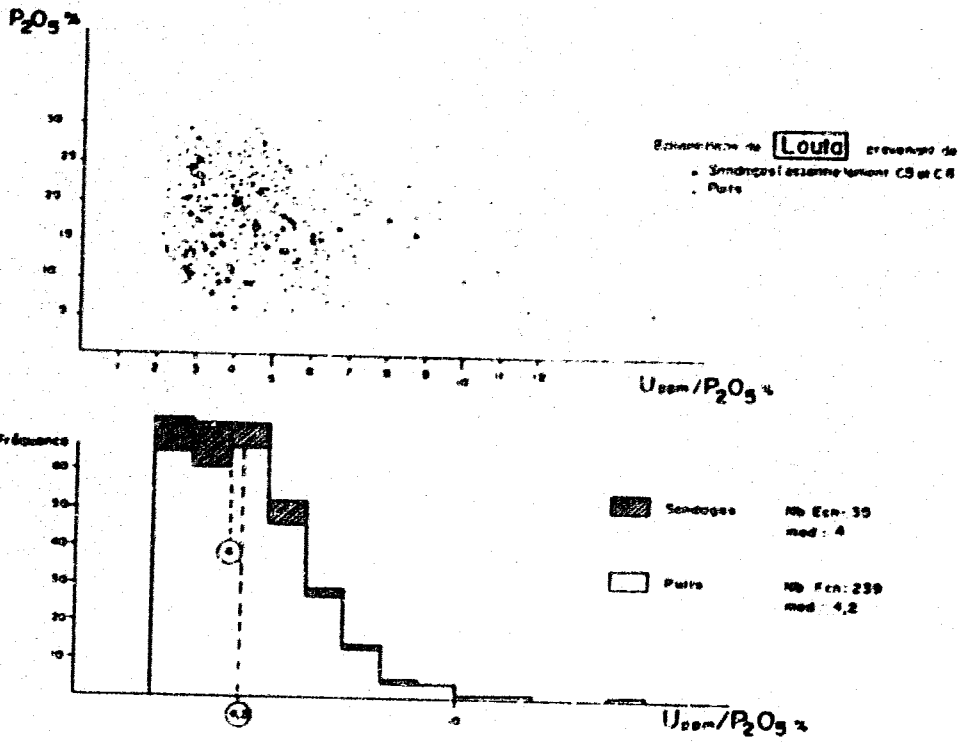


FIG. 15 : Relation U/  $P_2O_5$  et  $P_2O_5$  (Louta)

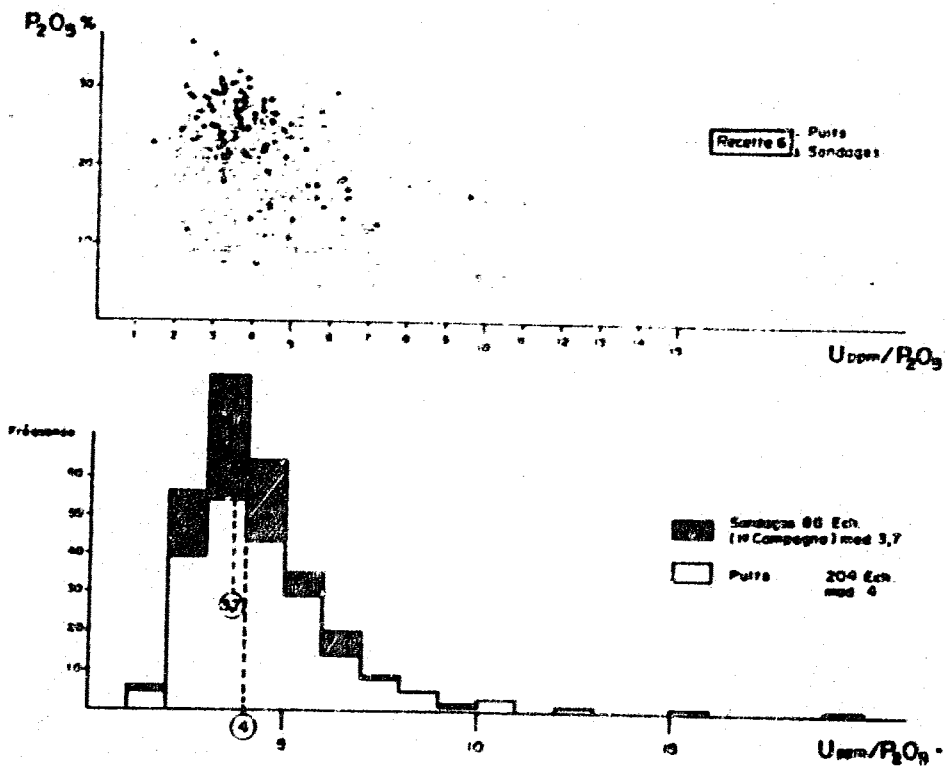
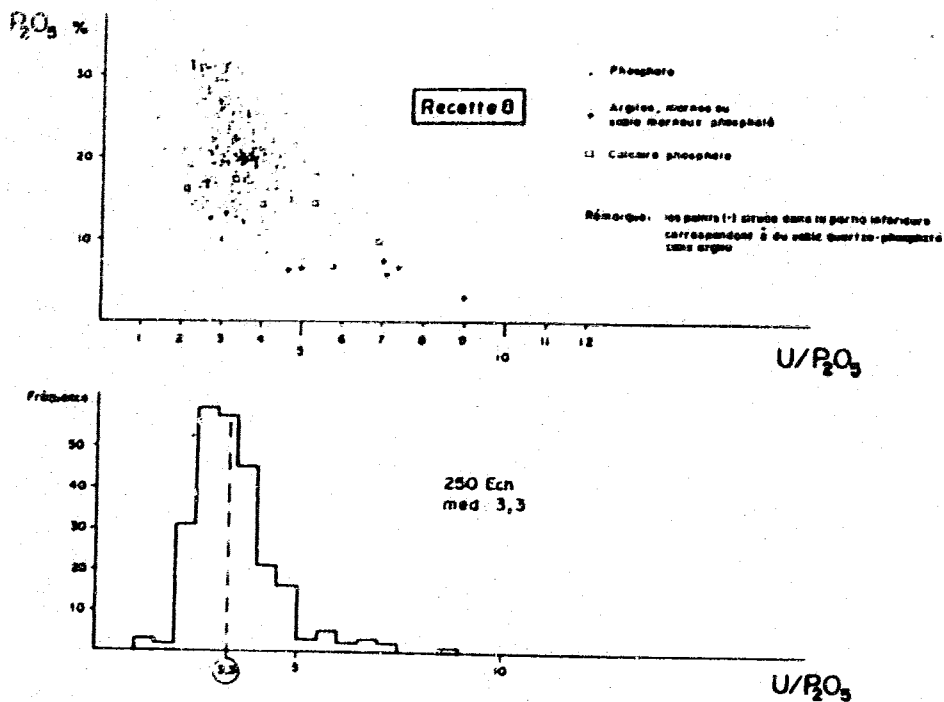


FIG. 16 : Relation U/  $P_2O_5$  et  $P_2O_5$  (Recette 6)

FIG. 17 : Relation U/ P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Recette 8)

#### Interprétation sédimentologique de la variation verticale des teneurs moyennes en U et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Les teneurs moyennes en U et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> des couches phosphatées diminuent régulièrement de la C.6 à la C.2 inférieure, de la C.2 supérieure au SX et encore de la C.1 à la C.11 m (fig.7 à l'extrême droite, fig. 5 schéma de gauche). Les analyses statistiques appliquées au fer et au titane montrent que les teneurs moyennes de ces deux éléments varient simultanément mais en sens inverse de celles en U et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Dans les séries phosphatées, notamment celles des Gantour, la liaison du fer et du titane avec les minéraux argileux a été démontrée par Prévôt & al. (1979) ; une augmentation parallèle des teneurs en Fe et Ti reflète donc un enrichissement en minéraux argileux.

Ces variations régulières et répétitives des moyennes ne peuvent être le fruit du hasard. A Ben Guérir, dans ce même gisement, Wadjinny (1979) démontre que la série inférieure (de la C.6 à la C.3), constituée par la superposition d'une quinzaine de séquences complètes ou rabougries, s'accompagne d'une diminution générale de la taille du grain des dépôts phosphatés ainsi que d'une

augmentation de l'importance de la gangue, et représente une mégaséquence positive.

Ainsi, cette mégaséquence positive se trouve soulignée de manière spectaculaire par une diminution régulière des teneurs moyennes en U et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Pour Wadjinny (1979), qui n'a étudié que les couches inférieures jusqu'à la C3, sa mégaséquence s'achèverait avec le niveau d'argiles jaunes recouvrant cette couche; en fait, elle semblerait plutôt se poursuivre, tout au moins ici, jusqu'au sommet de la C.2i puisque les teneurs en U et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> continuent à baisser et la quantité d'argiles à augmenter jusqu'à cette limite.

Par analogie, les C.2s et S.X constitueraient une deuxième mégaséquence positive se terminant par les marnes à silice, et la série allant de la C.0 à la C.11m, une troisième mégaséquence. Tous ces changements verticaux au sein de la série phosphatée résultent évidemment de modifications des conditions sédimentologiques au cours du temps, principalement de la profondeur du bassin qui contrôle le dynamisme des courants marins. D'après Boujo (1976), la sédimentation



phosphatée s'étend sur un vaste plateau continental recouvert d'une tranche d'eau ne dépassant pas dans bien des cas la dizaine de mètres, et bordé de continents usés par l'érosion et les altérations.

La forte granulométrie des grains phosphatés et la faible quantité de gangue à la base d'une mégaséquence, traduisent le fort dynamisme des courants ; la diminution de la granulométrie des grains et l'augmentation de l'importance de la gangue, aussi bien argileuse que carbonatée, indiquent une baisse du dynamisme de l'eau, ce qui correspond en fait à une transgression secouée par des soubressauts plus ou moins longs (dépôt des intercalaires argileux, calcaires ou siliceux; Boujo, 1976; Wadjiny, 1979).

Le découpage en trois mégaséquences positives définies précédemment peut être étayé par d'autres arguments : la C.2i, qui constitue la base de la série phosphatée à l'Ouest de la R.6 marque bien de ce fait le maximum de la transgression qui règle le dépôt de la première mégaséquence. Le bone-bed qui souligne la limite entre C.2i (pauvre) et C.2 s (riche) représente justement par sa forte granulométrie la base de la deuxième mégaséquence. La régression brutale qui l'accompagne, se trouve confirmée par la mortalité en masse des vertébrés marins concrétisée par ce bone-bed. Les marnes à silix, d'extension générale, avec lesquelles se terminent cette mégaséquence, par leur caractère argileux et chimique, indiquent bien un régime des eaux

très calme, résultant d'une augmentation de la tranche d'eau ; le maximum de la transgression est atteint. Le sommet des marnes à silix coïncide précisément avec le sommet du Maastrichtien.

La troisième mégaséquence positive (de la C.1 à la C.11m) débute par des sables phosphatés oolithiques grossiers et bien vannés (très peu d'impuretés argileuses) les plus riches du gisement ; la diminution des teneurs en U et  $P_2O_5$  vers le haut répond à la diminution de la granulométrie et à une augmentation conjointe de la puissance des couches, et de l'importance de la gangue, donc à une subsidence plus rapide.

En résumé, au cours du temps, les teneurs moyennes en U et en  $P_2O_5$  des différentes couches phosphatées diminuent selon des mégaséquences positives marquées simultanément par une diminution de la granulométrie des grains phosphatés et une importance croissante de la gangue argileuse carbonatée.

Ces teneurs enregistrent les évolutions et changements du milieu de sédimentation des séries phosphatées, notamment les modifications du dynamisme des eaux du bassin que représentent les transgressions et régressions.

Dans une série phosphatée, la connaissance de la distribution verticale de l'uranium peut donc contribuer à la reconstitution des conditions sédimentologiques du milieu de genèse du phosphate.

### Interprétations génétiques

Dans ce chapitre on va essayer de définir tous les facteurs primaires et secondaires qui jouent un rôle dans la répartition de l'uranium, et essayer de mesurer leurs effets chaque fois que ce sera possible afin de pouvoir expliquer la répartition actuelle de l'uranium dans les couches phosphatées.

Pour des raisons pratiques nous examinerons d'abord l'influence des facteurs secondaires, une fois celle-ci reconnue, il sera plus facile de distinguer le rôle des facteurs primaires.

#### REMOBILISATIONS SECONDAIRES D'URANIUM

##### ENRICHISSEMENT EN URANIUM PAR ALTÉRATION SUPERFICIELLE

On a pu voir, sur les cartes de répartition de l'uranium, que les plus fortes teneurs se localisaient à proximité de l'affleurement; voyons maintenant comment

se présente cet enrichissement sur les coupes des puits; une interprétation sera fournie ensuite.

Sur la figure 18, sont reproduites les parites sommitales des coupes de puits foncés dans plusieurs recettes. A côté de la coupe lithologique figurent graphiquement les teneurs en  $P_2O_5$  et U des niveaux phosphatés, ainsi que la courbe de radioactivité tracée à partir des mesures faites au scintillomètre SPP2.

Le rapport  $Uppm/P_2O_5\%$  varie selon les endroits de 2,3 (C. 2i, puits 9055) à 52,3 (S.D puits 1610). Rappelons que le rapport  $U/P_2O_5$  moyen, calculé statistiquement à partir de tous les échantillons, est voisin de 4.

En considérant le bassin des Gantour dans sa totalité comme un milieu fermé, on peut en première approximation estimer que ce rapport moyen définit la quantité d'uranium primaire fixé dans l'apatite, au cours de la sédimentation phosphatée.

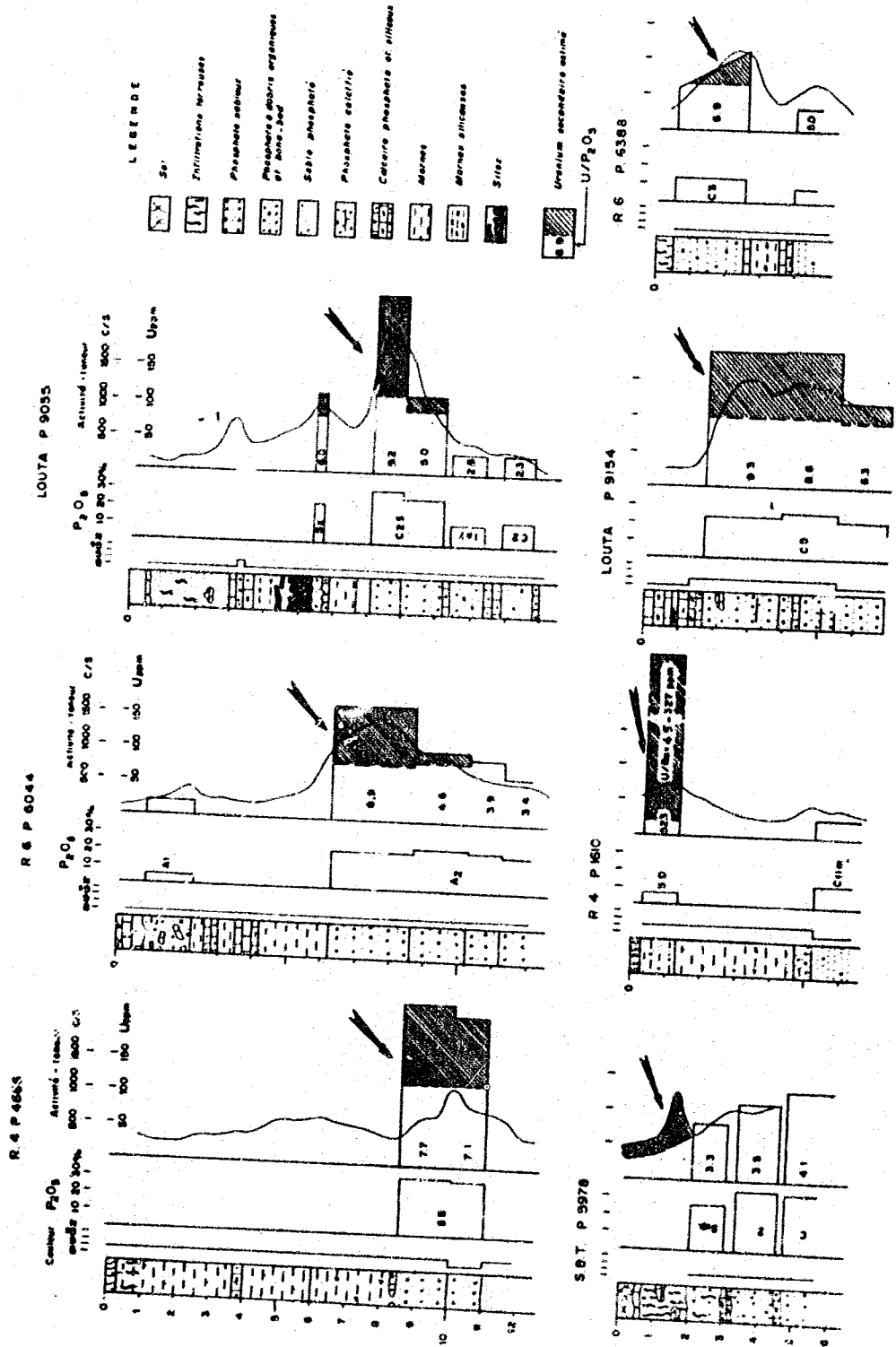


FIG. 18 Remobilisation d'uranium, accumulation à proximité de la surface.

Sur la fig.18, l'U excédentaire (pour  $U/P_2O_5$  supérieur à 4) a été hachuré; cet uranium excédentaire se fixe préférentiellement dans le premier niveau phosphaté situé sous la surface, et progressivement disparaît vers le bas (puits 6044-9055); les teneurs ainsi atteintes sont particulièrement élevées, pouvant dépasser 200 ppm.

La courbe de radioactivité indique parfois qu'une accumulation d'uranium peut s'établir en dehors des couches phosphatées, comme par exemple à la base des éboulis (puits 5978). Ceci n'a rien d'étonnant car, dans la série phosphatée du gisement des Meskala au Maroc, des minéraux secondaires d'uranium apparaissent à faible profondeur, sous forme d'enduits jaunes (carnote), dans les diaclases des niveaux calcaires ou dans les interlits marneux, (Jeanmaire & Potherat, 1977). Ces enduits jaunes ont été retrouvés dans les tranchées du bassin des Ganntour. Les minéraux secondaires d'uranium

(vanadates, phosphates, etc.) associés aux altérations superficielles, sont très souvent cités dans la littérature, mais leur intérêt n'est jamais scientifique (McKelvey, 1955).

Afin de mieux cerner la diffusion en profondeur de cet uranium excédentaire, une étude statistique a été appliquée aux quatre premiers niveaux phosphatés des puits de Louta implantés dans la zone d'affleurement. Un histogramme de fréquence du rapport  $U/P_2O_5$  a été établi pour chacune des quatre premières couches phosphatées situées sous la surface et ce, indépendamment de leur âge (fig.19). De la première à la quatrième couche rencontrée, la moyenne géométrique des rapports  $U/P_2O_5$  décroît régulièrement de 6 à 3,5. Par rapport aux couches profondes de Louta, les couches superficielles contiendraient donc en moyenne pratiquement le double d'uranium.

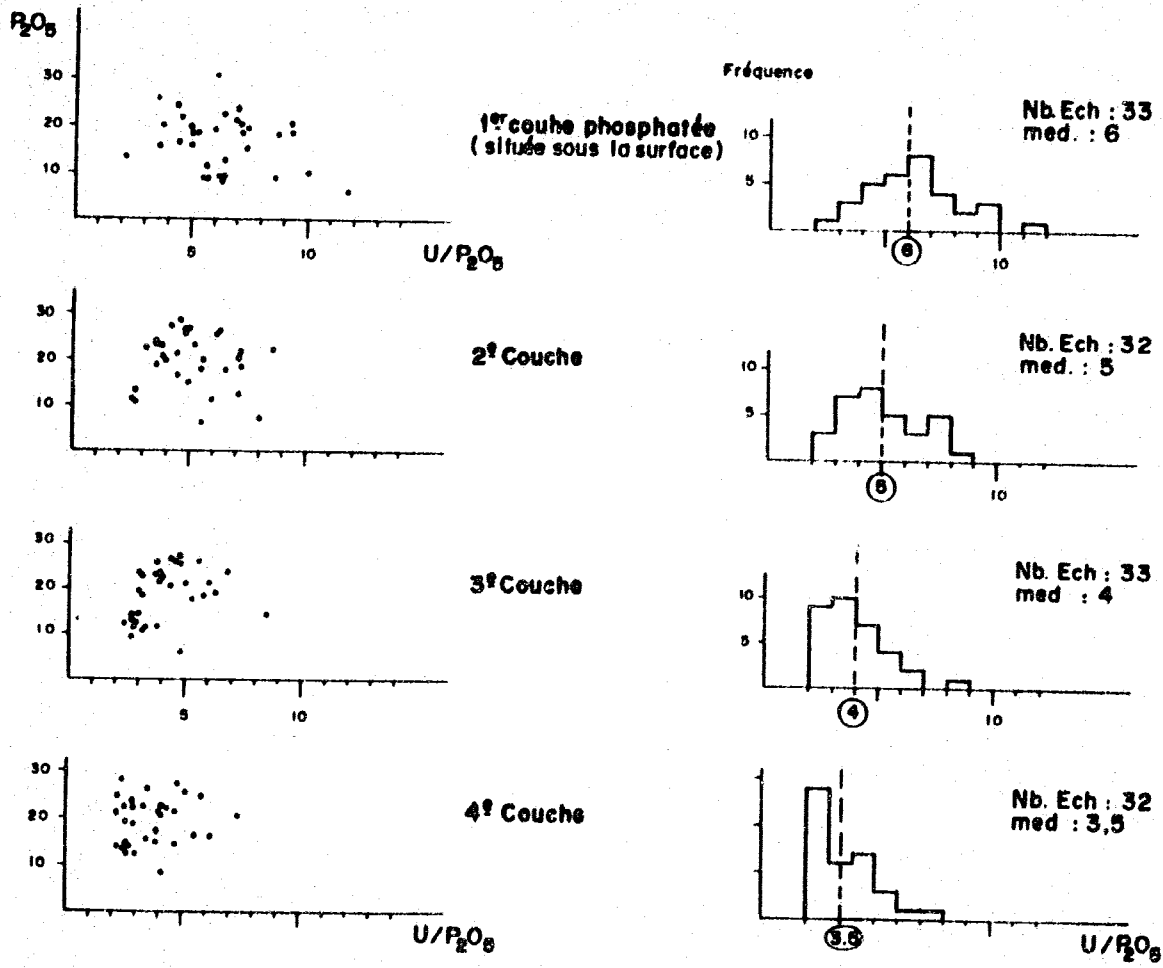


FIG. 19 : Relation entre  $U/P_2O_5$  et  $P_2O_5$  et liaison  $U/P_2O_5$  avec la profondeur (région de Louta).

On vérifie sur les diagrammes de corrélation U/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, que le rapport U/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> du phosphate n'a aucune relation avec sa teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Pour le premier diagramme, cela signifie que la fixation d'uranium secondaire est indépendante de la richesse en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> du niveau phosphaté concerné.

D'autre part, la figure 20 donne la moyenne des teneurs en U des 52 échantillons prélevés dans la première couche phosphatée située sous la surface, entre 0 et 10 m de profondeur et issus de 5 recettes, comparée à la teneur moyenne de l'ensemble des 1300 autres échantillons; elle est de 122 ppm dans le premier cas et de seulement 82 ppm dans le second; il y a donc 1,5 fois plus d'uranium dans le premier niveau phosphaté que dans l'ensemble des autres. Si l'on ne sélectionne que les niveaux dont la teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> est supérieure à 18,3%, ces moyennes deviennent respectivement 181 et 91 ppm, l'enrichissement relatif reste inchangé, il reste identique (ou à peine supérieur : 1,57) si l'on ne prend en compte que la R.6 et Louta. Pour les sillons supérieurs de la R.5 et de S.B.T. (à l'affleurement toujours) l'enrichissement relatif monte à 1,73; mais les sillons supérieurs sont plus riches en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, en surface qu'en profondeur ce qui compense exactement l'augmentation apparente de l'enrichissement. Le rapport U/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pouvant être considéré comme constant quelles que soient les couches, leur richesse en phosphate ou les recettes, l'indépendance de la fixation secondaire d'U, vis-à-vis de la teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> des niveaux phosphatés concernés, se trouve confirmée.

Enfin, on a pu constater qu'en général des courbes de radioactivité se superposent assez bien sur celles des teneurs en U. Par contre, la baisse relative de la radioactivité au niveau des enrichissements superficiels d'uranium, matérialisée par une disharmonie entre les deux courbes, plus ou moins importante selon les puits (fig.18), traduit un déséquilibre radioactif de l'U avec ses descendants. Ce déséquilibre se trouve confirmé par des mesures du rapport U/eRa (en cours de réalisation) par spectrométrie gamma multicanaux; dans le puits 1610 par exemple le déséquilibre favorable à l'U est particulièrement important : U/eRa= 4,5. Mais le déséquilibre radioactif des échantillons superficiels n'est pas systématique ainsi que le montre la figure 21. Une bonne partie des échantillons superficiels, de même que tous les échantillons profonds, peuvent être considérés comme étant en équilibre, dans les limites de précision de la méthode. Un lot seulement d'échantillons superficiels se dispose approximativement sur une droite parallèle à la droite d'équilibre, montrant ainsi un

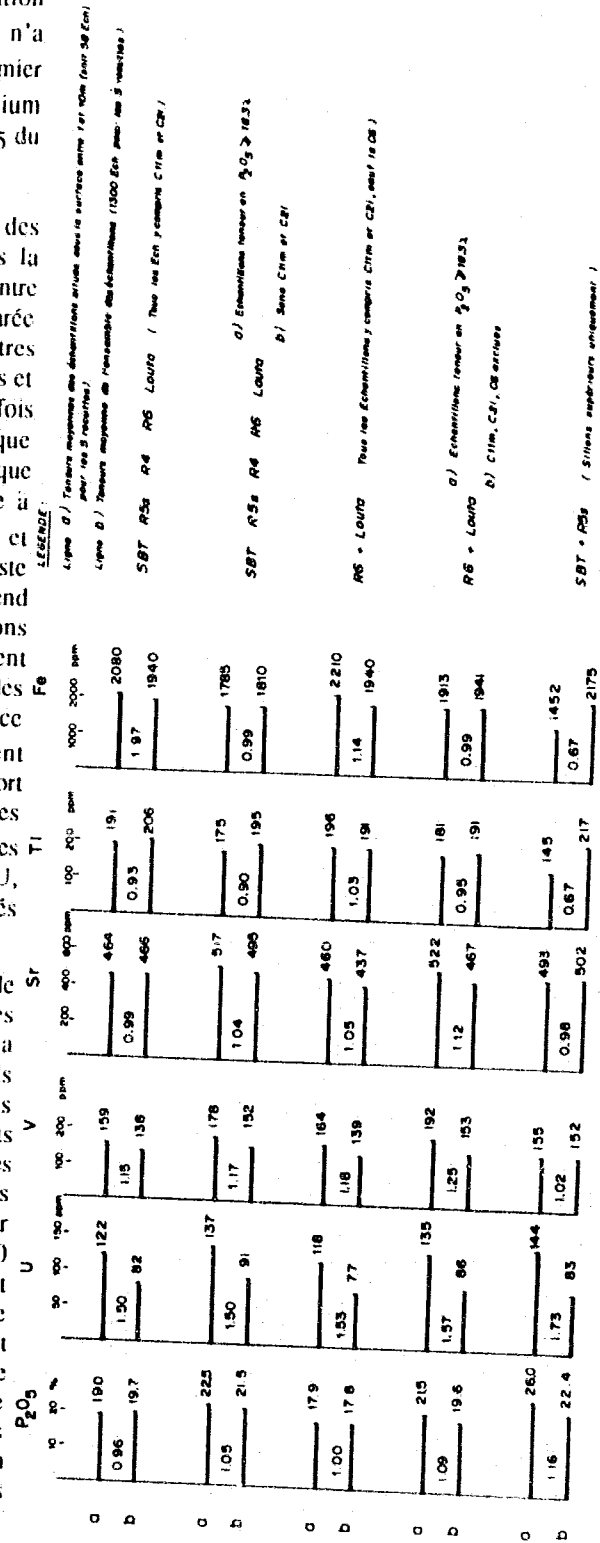


FIG. 20 : Moyennes comparées des teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, U, V, Sr, Ti, Fe du premier niveau phosphaté situé sous la surface (de 1 à 10 m) dans la zone d'affleurement de l'ensemble des couches phosphatées.

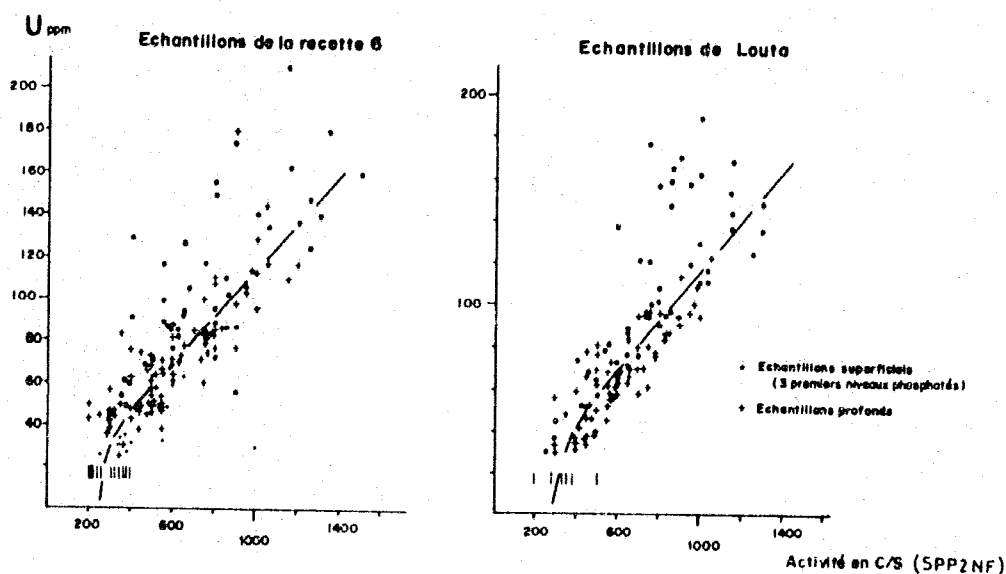


FIG. 21 Relation teneur en Uranium-radioactivité

déséquilibre défavorable à l'U, et deux autres échantillons superficiels sont en déséquilibre défavorable à l'U, (échantillons de la R.6 situés bien en dessous de la droite d'équilibre).

Les roches porteuses étant anciennes (plus de 60 millions d'années), l'équilibre radioactif devrait être réalisé, car il s'établit en moins d'un million d'années. S'il ne l'est pas, on peut penser soit à un apport récent d'U, soit au départ d'un des éléments de la série (Coppens & al., 1978, Schmith & Phan, 1981). Dans le contexte présent (enrichissement important en uranium), l'apport récent d'U dans les échantillons à déséquilibre favorable paraît beaucoup plus probable.

Pour résumer : Il existe un enrichissement en U lié aux niveaux phosphatés superficiels, cet enrichissement se produit indépendamment de l'âge de la couche et de sa richesse en  $P_2O_5$ ; il est maximum dans le premier niveau phosphaté rencontré (enrichissement relatif de 1,7), régresse vers le bas et ne se fait plus du tout sentir après le troisième niveau. L'état de déséquilibre radioactif de l'U indique que cet enrichissement est très jeune relativement à l'âge des formations porteuses.

#### MECANISME DE L'ENRICHISSEMENT SUPERIEUR

La liaison géographique de l'enrichissement en U avec la zone d'affleurement, sa diminution progressive en profondeur, et son caractère récent font immédiatement

penser à des phénomènes de remobilisation superficielle de l'uranium par altération.

De nombreux travaux (Altshuler & al., 1958, Capdecemme, 1952; Mc Kelvey, 1955; Mc Kelvey & al., 1955.) montrent que lorsque les phosphates sont soumis à l'altération sous l'action d'une pédogenèse ou de la circulation des eaux, l'uranium peut être remis en solution et s'accumuler à la base de la zone lessivée. La preuve de la migration de l'uranium lors de l'altération est fournie par l'apparition de minéraux secondaires et la présence de teneurs anormales dans les eaux des mines (0,022 ppm au lieu de 0,001, d'après Mc Kelvey & al., 1955). Le rôle de l'apatite comme piège à uranium est démontré entre autre par le fait que les os, constitués d'apatite non uranifère, montrent une augmentation de leur teneur en uranium avec l'âge (Jaffe & Sherwood, 1951).

Les effets de l'altération varient avec son intensité; dans le cas du Sénégal (Taïba) et de la Floride, une altération intense aboutit à la formation de phosphate alumineux sur de fortes épaisseurs. Une altération plus modérée ne transforme pas minéralogiquement l'apatite, le phosphate mis en solution recristallisant sous la même forme vers la base du profil (Slansky, 1977). Au Maroc, l'altération météorique du phosphate des Oulad Abdoun de la zone rubéfiée de Sidi-Daoui (El Mountassir, 1977) n'entraîne que des modifications minéralogiques légères dans le réseau cristallin de

l'apatite (diminution de Ca, augmentation, de  $\text{CO}_2$  principalement). Naturellement, la remobilisation de l'uranium sera d'autant plus importante que l'altération sera puissante. Dans le bassin des Gantour, où aucune zone rubéfiée n'existe, l'altération du phosphate est faible mais suffisante cependant pour libérer une certaine quantité d'uranium, comme le suggère par exemple la courbe de radioactivité du puits 6388 (fig. 18).

Le schéma interprétatif qui explique le mieux l'enrichissement en uranium est le suivant (fig. 22).

Les eaux de pluie, légèrement acidifiées par le gaz carbonique de l'air, s'enrichissent en uranium au cours du ruissellement sur l'affleurement et de leur infiltration à travers la partie supérieure des niveaux phosphatés. Dans ces eaux acides, l'uranium passe probablement en solution sous forme d'ions complexes uranyles ou uraneux. Au cours de leur neutralisation, les eaux perdent progressivement leur uranium capté par l'apatite qui constitue un excellent piège. De la carnotite peut se former en quantité mineure dans les faciès non phosphatés; dans les phosphates, deux possibilités s'offrent à l'uranium, une partie entrera dans le réseau cristallin de l'apatite en remplacement isomorphique du calcium, le reste sera adsorbé par les cristallites.

Au fur et à mesure de l'avance de l'érosion, le front

d'enrichissement en uranium va migrer au même rythme, accumulant toujours plus d'uranium devant lui (comme devant la lame d'un bulldozer).

Les conditions climatiques étant établies, la quantité d'uranium ainsi déposée va dépendre de nombreux autres facteurs tels que la qualité de l'affleurement du phosphate, la topographie, la pente (forte, le ruissellement l'emportera sur les infiltrations, faible...) et surtout la perméabilité des roches (porosité, fracturation). Un niveau argileux imperméable empêchera toute infiltration et donc tout enrichissement du phosphate sous-jacent, par contre le phosphate situé à son toit sera le filtre obligatoire à travers lequel vont percoler les eaux d'infiltration pouvant conduire, comme dans le puits 1601 (fig. 8), à un fort enrichissement ( $327 \text{ ppm}$ ,  $\text{U/P}_2\text{O}_5=52,3$ ).

#### ENRICHISSEMENTS D'URANIUM EN PROFONDEUR, LIÉS AUX CIRCULATIONS D'EAU SOUTERRAINE

L'examen détaillé des profils lithologiques et géochimiques, établis à partir des données descriptives et des résultats d'analyses, a permis de mettre en évidence d'autres anomalies de la distribution de l'uranium non plus en surface, mais cette fois en profondeur.

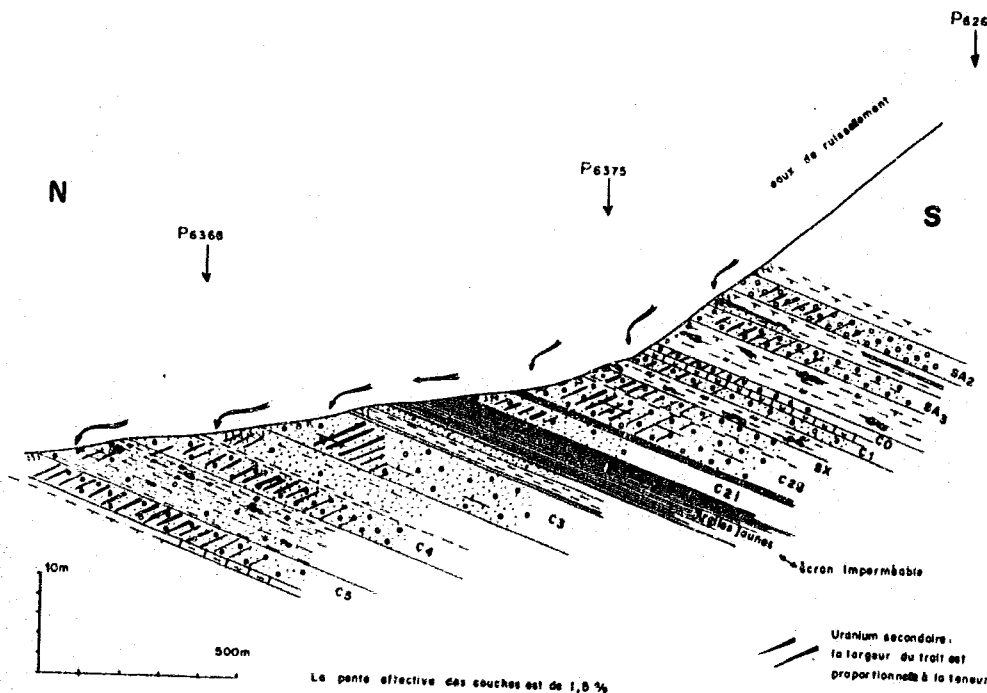


FIG. 22 : Schéma de la répartition des accumulations d'uranium secondaire liées aux altérations superficielles.



A l'extrémité occidentale de la Recette 6, la couche 6 composée d'un ou plusieurs niveaux phosphatés (fig. 23) renferme à sa partie supérieure des quantités inhabituelles d'uranium (de 140 à 180 ppm). Parfois même (P 6338), cet enrichissement vers le sommet de la couche se produit alors que la teneur en  $P_2O_5$  diminue, ce qui est tout à fait anormal, du bas de la couche vers le haut, le rapport  $U/P_2O_5$  passe du simple au double (de 3,1 à 7,5).

On remarque d'autre part sur la C.6 l'existence d'un toit argileux imperméable. La nappe phréatique bien qu'actuellement à un niveau inférieur, reste assez proche (quelques mètres).

Dans ce contexte, la distribution anormale de l'uranium peut s'expliquer par l'action de la nappe phréatique : lorsqu'elle était mieux alimentée, elle restait captive sous le toit argileux. Or, comme la zone de cimentation d'une nappe correspond précisément à sa partie supérieure, cette nappe est probablement responsable du dépôt d'uranium excédentaire.

L'examen des profils a révélé un autre cas d'enrichissement profond, non plus local, mais qui trouve des exemples dans toutes les recettes à l'Ouest de la zone charnière (fig.24). En effet, les niveaux phosphatés qui encadrent les calcaires à *Cardita* ont souvent un rapport  $U/P_2O_5$  supérieur à la moyenne. Ces calcaires à *Cardita* peuvent, selon les endroits, former plusieurs intercalcaires dans la C.O ou entre celle-ci et les couches voisines, la C.1 et la C.O'.

Dans son étude hydrogéologique du bassin des Ganntour, Bendhia (1976) a pu constater que les calcaires à *Cardita* laissent circuler l'eau dans leurs fissures, et que les couches phosphatées voisines ne sont imperméables que lorsqu'elles sont noires et imprégnées de matière organique. Comme ce n'est pas le cas dans les puits examinés ici, mais qu'en plus les nombreux lamellibranches du calcaire sont entièrement dissous, on peut affirmer que ces banes de calcaire ont drainé les eaux de la nappe souterraine.

Un niveau argileux recouvre partout le sillon A; aux recettes 4 et 8, un autre niveau argileux apparaît directement sur la C.O' ou dans le S.A. La position du toit argileux semble jouer un rôle dans la répartition de l'uranium secondaire : le rapprochement du toit imperméable vers les calcaires à *Cardita* fait descendre les enrichissements jusqu'à la couche 1.

Ainsi d'après les observations précédentes et bien que les niveaux concernés soient en zone sèche, la liaison entre l'excès d'uranium et une ancienne nappe phréatique paraît évidente.

D'après la relation entre la teneur en uranium et la radioactivité de ces niveaux, l'équilibre radioactif de l'uranium semble réalisé, confirmant si besoin en était que cet enrichissement secondaire n'est pas récent. Cet uranium secondaire pourrait provenir du lessivage des couches sous-jacentes (S.X et en partie C.1) dont le rapport  $U/P_2O_5$  est particulièrement faible à ces endroits (de 1,2 à 3,5).

#### CONSEQUENCES DES PHENOMENES SECONDAIRES SUR LA REPARTITION ACTUELLE DE L'URANIUM

L'altération superficielle permet d'expliquer l'augmentation des teneurs en uranium des niveaux phosphatés dans la zone d'affleurement. Ce phénomène est très fréquent sur la bordure nord du gisement, beaucoup moins sur la bordure occidentale car sur cette dernière, les puits débutent la plupart du temps dans la partie supérieure de la série essentiellement calcaire et marneuse (ne contenant que les sillons supérieurs dont on n'a pas dressé la carte des teneurs).

L'enrichissement apparent des couches phosphatées de Louta, par rapport à celles de la Recette 6, particulièrement net pour les couches inférieures (fig.6,  $U/P_2O_5$  toujours plus grand à Louta qu'à la R.6) provient du fait que la proportion des puits de Louta, implantés dans la zone d'affleurement (donc enrichis superficiellement) est plus importante qu'à la R.6.

Mais ce phénomène, qui agit de la même manière sur tous les niveaux phosphatés, ne peut être incriminé pour expliquer la disharmonie des moyennes globales en U et  $P_2O_5$  au niveau de la C.1 et du S.X ; en revanche les circulations souterraines, par une remobilisation secondaire de l'uranium de ces niveaux vers la C.O, pourraient expliquer cette observation (fig.6 : les moyennes globales du rapport  $U/P_2O_5$  passent de bas en haut par les valeurs suivantes : 3,3 ; 3,6 ; 4,4).

L'enrichissement de la C.6, dans la partie occidentale de la R.6, qui ne pouvait s'expliquer ni par une augmentation de la teneur en  $P_2O_5$ , ni par une réduction de puissance de la couche, peut maintenant être interprété par un enrichissement secondaire.

D'autre part, les Recettes 7 et 8, toutes deux situées dans la zone noyée et ne comportant que des faciès noirs échantillonnés sur sondage, présentent pourtant des taux de richesse en uranium différents, ceux de la R.7 sont nettement supérieurs à ceux de la R.8, ce qui peut s'expliquer par leur position relative par rapport au sommet de la nappe phréatique : la R.7 est beaucoup plus proche de la zone de battement de la nappe que la R.8.

En définitive, la répartition primitive de l'uranium se



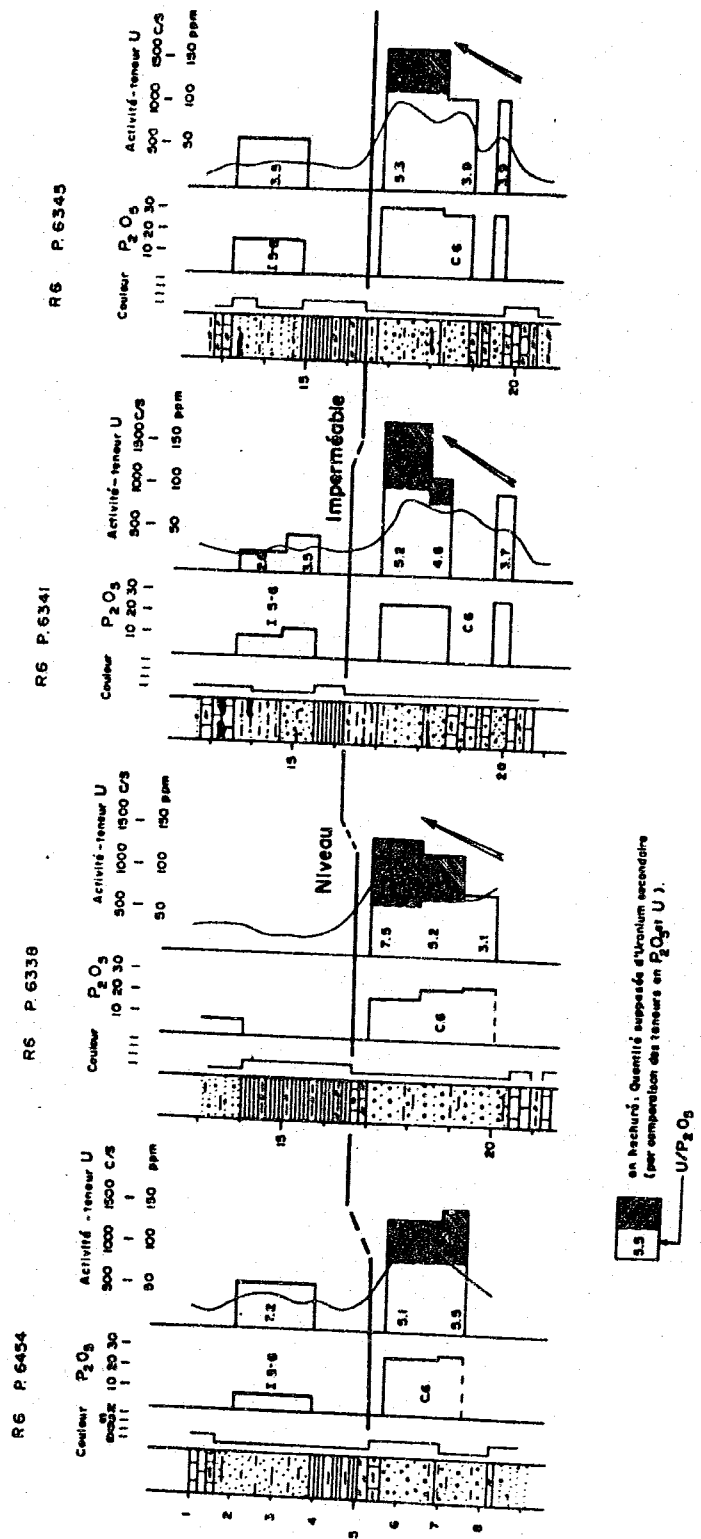


FIG. 23 : Remobilisation d'uranium : accumulation liée aux circulations souterraines (au toit d'une nappe captive).

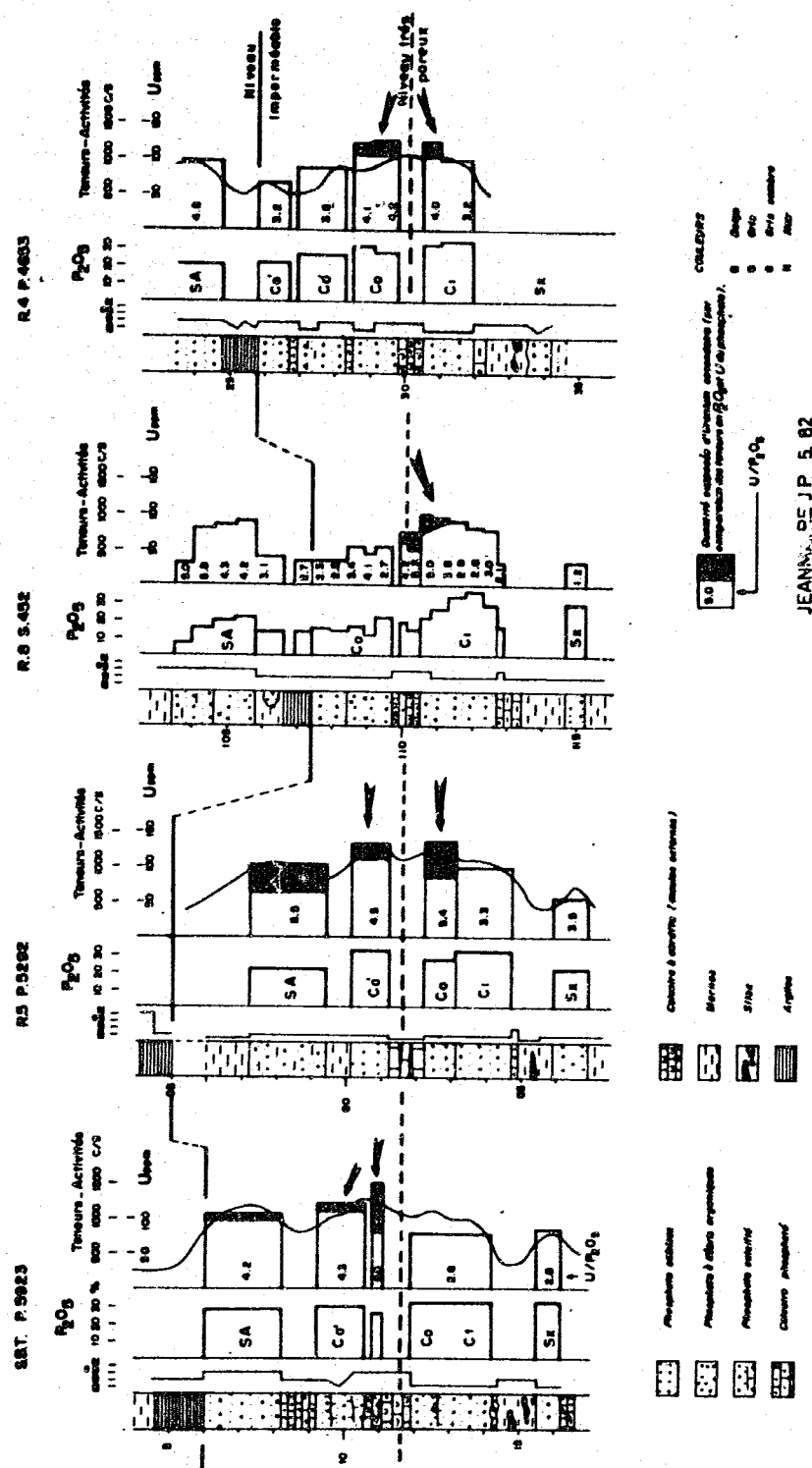


FIG. 24 : Remobilisation d'uranium : accumulation liées aux circulations souterraines (au niveau du diaclase à Cardita).

trouve modifiée par deux mécanismes secondaires d'altération dûs aux circulations d'eau, l'un étant superficiel, l'autre souterrain. Le premier mécanisme qui procède par lessivages et redépôts successifs permet des enrichissements intéressants (en moyenne une fois et demi), dans une vaste zone facile à circonscrire puisqu'elle est directement liée à l'affleurement du phosphate. Le second mécanisme qui dépend de facteurs beaucoup plus complexes (multiplicité et mobilité des nappes), ne parvient pas à des enrichissements aussi importants, et d'autre part leur localisation est beaucoup plus aléatoire, dépendant des variations de faciès, de la perméabilité relative des couches, mais aussi de la vitesse des écoulements.

Il est certain qu'en profondeur les circulations étant très lentes, voire nulles, les faciès étant réducteurs et peu perméables, les remobilisations seront très faibles en revanche, dans la partie supérieure des nappes où les débits d'eau seront plus élevés et les conditions oxydantes, l'uranium pourra être remobilisé, lessivé ici et accumulé là, au gré des conditions locales, des changements de débit et des facteurs d'oxydo-réduction. La zone sèche et sa bordure noyée sont des lieux privilégiés de remobilisation de l'uranium, les zones les plus favorables aux enrichissements secondaires correspondant aux faciès perméables surmontés d'un toit argileux et qui subissent un fort débit aqueux; ici à travers un modèle permanent, le facteur temps joue un rôle déterminant.

#### MECANISME DE CONCENTRATION PRIMAIRE DE L'URANIUM DANS LES PHOSPHATES

Le mécanisme de concentration primaire de l'U dans l'apatite sédimentaire a été résumé par Slansky (1977), sur la base de nombreuses études existantes. L'eau de mer est considérée comme la source initiale de l'uranium présent en solution sous sa forme hexavalente liée à un complexe carbonaté. La matière organique contenue dans les sédiments du fond marin (abondante dans les zones favorables à la sédimentation phosphatée), concentre plus d'une dizaine de fois l' $U^{6+}$  de l'eau de mer et le réduit en partie sous sa forme  $U^{4+}$ . Ce dernier entre isomorphiquement dans le réseau de l'apatite en voie de formation, tandis que l' $U^{6+}$  restant, trop gros pour incorporer le réseau, est adsorbé à la surface des cristallites d'apatite.

Dans ce schéma, la quantité d'U s'associant à l'apatite va dépendre de différents facteurs. Ainsi, la matière organique joue un rôle double : plus elle est abondante et plus il y a aura d' $U^{4+}$  disponible pour entrer dans le

réseau de l'apatite et de plus, en limitant la dimension des cristallites, elle augmentera leur surface spécifique et les possibilités d'absorption de l' $U^{6+}$  (Sheldon, 1959). On peut donc s'attendre à trouver de meilleures teneurs en U d'une part, dans les phosphates riches en matière organique et d'autre part, dans les phosphates fins.

La rapidité avec laquelle l'U se fixe dans les phosphates (les phosphorites du fond des océans actuels ont des teneurs en U comparables à celles des phosphates des continents; Baturin & al., 1974), montre que tout l'U présent dans le milieu de genèse, sera fixé par le phosphate. Mais les phosphates ne peuvent évidemment absorber au maximum que l'U présent, d'où l'importance de la teneur en U de la solution originelle.

La vitesse de sédimentation peut jouer également un rôle : les faibles vitesses augmentent la durée du contact des particules phosphatées avec les eaux interstitielles; ainsi, les phosphates grossiers qui sont brassés plus longtemps par les courants seront riches en U que les phosphates fins (Cathcart, 1955). Ceci est en contradiction avec les considérations sur l'importance de la surface spécifique des grains fins vis-à-vis de l'absorption de l'U; le facteur granulométrique est donc un facteur trop ambigu pour être facilement utilisable.

#### ROLE DES DIVERS FACTEURS DE CONCENTRATION PRIMAIRE DE L'URANIUM DANS LES PHOSPHATES DES GANNTOUR

##### RÔLE DE LA TENEUR EN U DE L'EAU DE MER

La teneur en U de l'eau de la mer maastrichtienne et éocène a une importance déterminante sur le contenu en U syngénétique des apatites. Il pourrait être possible à priori, de trouver des zones à teneur moyenne en U plus élevée, due à des sources d'apport d'U supplémentaire, comme par exemple au voisinage de roches granitiques fertiles dont l'altération a pu libérer dans le bassin un surcroît d'U.

Pendant la genèse des phosphates, l'altération du massif granitique situé juste au Nord de la recette de Louta (et qui a produit une petite quantité de pechblende), pouvait fournir de l'U supplémentaire à la mer et enrichir le phosphate de Louta. Et effectivement, Louta est de toutes les recettes celle qui présente le rapport  $U/P_2O_5$  le plus élevé; mais à Louta, le nombre d'ouvrages situés dans la zone d'affleurement enrichie secondairement est plus important qu'ailleurs. Il devient alors difficile de faire la part des choses. Aussi, un apport supplémentaire d'U primaire est certainement possible à Louta, mais il est difficile d'en mesurer l'importance.

RÔLE DE LA QUANTITE DE MATIÈRE ORGANIQUE CONTENUE  
DANS LES SEDIMENTS

L'importance de la matière organique vient d'être signalée, mais d'une part, la matière organique elle-même ne renferme que très peu d'uranium (bien que la formation Phosphoria du Permien des U.S.A contienne quelques lits de schistes noirs qui ressemblent aux schistes noirs uranifères de certaines autres formations, seuls les lits phosphatés sont uranifères; McKelvey & al., 1955, et d'autre part, une trop forte teneur aurait un effet néfaste en diluant l'U comme le ferait n'importe quel minéral non phosphaté. Aucune analyse de matière organique n'a été effectuée sur les échantillons des Ganntour; les phosphates noirs de la zone noyée ont pratiquement conservé toute leur matière organique originelle tandis que celle des phosphates clairs de la zone sèche a été presque entièrement oxydée. Selon les auteurs précédents, la comparaison des roches fraîches et altérées de la Phosphoria Formation montre que les phosphates s'enrichissent par altération aux dépens de la matière organique. Dans le bassin des Ganntour, les phosphates sont d'autant plus riches en U qu'ils sont plus clairs (et plus proches de l'affleurement); la disparition de la matière organique peut donc contribuer à enrichir le phosphate, enrichissement résiduel, mais là encore on ne peut préciser cette influence masquée par les enrichissements secondaires qui vont dans le même sens.

RÔLE DE LA DURÉE D'EXPOSITION DES CRISTALLITES  
D'APATITE A LA SOLUTION

Le facteur temps en géologie est un facteur déterminant, plus longue sera l'exposition des phosphates aux solutions uranifères et plus leur teneur sera élevée. Ainsi, les particules phosphatées des calcaires Hawthorn du Miocène de Floride (U.S.A) contiennent 50 à 80 ppm d'U, tandis que celles de la formation pliocène de la Bone Valley surincombante, dérivées en grande partie des résidus remaniés de la Hawthorn contiennent 100 à 200 ppm (Mc Kelvey, 1955), la durée d'exposition des phosphates à la mer est reconnaissable à la granulométrie des grains phosphatés.

Les séquences positives, définies dans les Ganntour, montrent une réduction simultanée de la teneur en U et de la granulométrie, mais la corrélation avec le  $P_2O_5$  joue dans le même sens. On pourrait apprécier le rôle de la durée si les rapports U/ $P_2O_5$  diminuaient simultanément, ce qui n'est pas évident, sauf pour les couches les plus pauvres (C 2i, C.11m), où en effet ce rapport est souvent plus faible que la normale (3,4 et 3,7 en moyenne au lieu de 4). Par ailleurs, l'amincissement

d'un étage comme le Montien aboutit souvent à son enrichissement simultané en  $P_2O_5$  et U, le facteur temps semble donc se répercuter sur la richesse en U du phosphate, mais aucun remaniement important des phosphates qui aurait pu permettre un fort enrichissement, n'a affecté la série phosphatée.

En résumé, les facteurs primaires de concentration de l'U dans les phosphates du bassin des Ganntour ont joué un rôle certain sur la répartition primitive de l'U, mais il est difficile de démêler l'écheveau compliqué de leurs influences et plus encore de mesurer l'importance de chacun. Dans la mesure où aucun de ces phénomènes primaires n'apparaît déterminant, il semble illusoire de vouloir (dans la partie occidentale du bassin des Ganntour) utiliser ces facteurs primaires comme guide de recherche de concentration d'U, d'autant plus que de toute façon le dépôt syngénétique d'U n'a guère dû dépasser, dans la grande majorité des cas, la teneur de 100 ppm; la teneur en  $P_2O_5$  semble être de loin le facteur primaire qui contrôle le mieux la teneur en U des phosphates restés à l'abri des remobilisations.

## CONCLUSION

Dans la série phosphatée de la partie occidentale du bassin des Ganntour, seuls les niveaux phosphatés contiennent des quantités notables d'uranium, les niveaux intercalaires calcaires, marneux, argileux ou silicieux peuvent être considérés comme stériles. Dans les niveaux phosphatés l'uranium est inégalement réparti suivant les couches et les recettes; ainsi il varie d'une moyenne de 30 ppm (C.11m de la R.6) à une moyenne de 144 ppm (sillons supérieurs de la R.4). La répartition géographique est également bien différente d'une région à l'autre; la zone la plus riche est étroitement liée aux affleurements (leur enrichissement est d'environ une fois et demi), les teneurs moyennes décroissant rapidement de la surface vers la profondeur sur une dizaine de mètres, puis beaucoup plus modérément, au fur et à mesure de l'approfondissement et du déplacement vers le Sud qui fait passer des phosphates clairs de la zone sèche, aux phosphates noirs riches en matière organique, de la zone noyée.

Au cours du temps (des couches les plus anciennes vers les plus récentes), les teneurs en uranium diminuent simultanément dans toutes les recettes à l'intérieur de 3 cycles qui semblent correspondre à des mégaséquences positives. La fixation de l'uranium dans l'apatite au cours de la phosphatogenèse, très sensible aux conditions physico-chimiques du milieu de sédimentation, subit

l'influence du dynamisme des eaux du bassin et sa répartition reproduirait ainsi les fluctuations de la profondeur commandées par les transgressions et les régressions.

La corrélation entre l'uranium et le  $P_2O_5$  est grossièrement linéaires pour les échantillons restés à l'écart des remobilisations épigénétiques et leur teneur en U ne dépasse pas 100 ppm. U et  $P_2O_5$  varient de manière aléatoire pour les échantillons enrichis secondairement. La répartition actuelle de l'uranium dans

les couches phosphatées de la partie occidentale du bassin des Ganntour peut s'expliquer par un dépôt d'U syngénétique, puisé dans l'eau de mer; la quantité d'U fixé dépend des variations physico-chimiques du milieu et principalement de la quantité d'apatite formée. Ultérieurement, des phénomènes secondaires (altération météorique et souterraine) modifient la répartition primitive de l'uranium; des enrichissements superficiels intéressants se produisent dans la zone des affleurements et d'autres plus modestes surviennent en profondeur dans les zones à fort débit aqueux.

### REFERENCES

- ALTSHULER Z.S, CLARK R.S, Jr, YOUNG E.J (1958) : Geoche-ministry of uranium in apatite and phosphoric. *U.S. Geol. Survey prof. paper* 314-D, Washington.
- BATURIN G.N & KOCHENOV A.K. (1974) : Uranium content of Oceanic phosphorites. *Lithology and Mineral Resources*, vol. 9, n°1, 199-103.
- BENDHIA M. (1976) : Etude hydrogéologique préliminaire du bassin des Ganntour. Rapport Géol n° 156, Office Chérifin des Phosphates, Maroc (inéd.)
- BOUJO A. (1976) : Contribution à l'étude géologique du gisement de phosphates Crétacé - Eocène des Ganntour (Maroc occidental). *Notes & M. Serv. Géol. Maroc* n° 262, 227p.
- CAPDECOMME L. (1952) : Etude minéralogique des gîtes de phosphates alumineux de la région de Thiés (Sénégal. 19ème congrès géol. Intern. Alger, 1952, fasc. XI. 103 - 107.
- CATHCART J.B. (1955) : Distribution and occurrence of uranium in the calcium phosphate zone of the land-pebble phosphate district of Florida. *U.S.A. Geol. Survey Prof. Paper* 300, 489-494.
- COPPENS R., BASHIR S. & RICHARD P. (1977) : Radioactivity of al Hasa phosphate - A preliminary study *Mineralium Deposita* (Berl.), 12, 189-196.
- COPPENS R., RICHARD P. & MOUMNI A.K. (1978) : Déséquilibres radioactifs dans de nombreux phosphates naturels. 103è Congrès national des Sociétés savantes, Nancy, fasc.IV, 107-117.
- EI. MOUNTASSIR M. (1977) : la zone rubéfiée de Sidi -Daoui, altération météorique du phosphate de chaux des Ouled-Abdoun (Maroc). Thèse 3ème cycle, université Louis-Pasteur, Strasbourg.
- GONY J.M. (1971) : Etude cristalochimique du phosphate uranifère de Bakouma (République Centrafricaine). C.E.A., C.E.N. Saclay, rapport C.E.A - R. 4003.
- JAFFE E.B. & SHERWOOD A.M. (1951) : Physical and chemical comparaison of modern and fossil tooth and bone materials. *U.S. Géol. Survey T.E.M.*, 149,19p.
- JEANMAIRE J.P. & POTIERAT P. (1976) : Etude préliminaire pour la recherche d'uranium dans les séries carbonatées et phosphatées de la région de Chichaoua (Ouest de Marrakech). Rapport B.R.P.M Maroc, G A 1- 77. (inéd.)
- JEANMAIRE J.P. & POTIERAT M. (1977) : Etude préliminaire pour la recherche d'uranium dans les séries carbonatées et phosphatées du bassin d'Imin-Tanout. Rapport B.R.P.M Maroc, GA 1- 158. (inéd.)
- JEANMAIRE J.P. (1983) : Etude de la répartition de l'uranium dans les niveaux phosphatés de la partie occidentale du bassin des Ganntour ; premiers résultats. *Mine, géol. & Energie*, Rabat, n° 52.
- MAGET P. (1956) : L'uranium au Maroc, Projet. Rapport B.R.P.M, Maroc (inéd.)
- MC KELVEY V.E (1955) : Uranium in phosphate rocks. *U.S. géol. Survey Prof. Paper* 300, 477-481.
- MC KELVEY V.E & CARSWELL L.D. (1955) : Uranium in the phosphorite, formation *U.S. Géol Survey Prof. Paper* 300, 483-787.
- NEJMAOUI A., KAUPKA F., BERRADA M., CHAPIUS A. & TYS J. (1979) : Dosage de l'uranium dans les phosphates marocains par spectrométrie. *Mine, géologie & Energie*, Rabat, n° 46, 183-191.
- PREVOT L., LUCAS J., NATHAN Y. & SHILLONI Y. (1979) : Répartition des éléments traces dans les phosphorites marines. In: *Origin and distribution of the elements*, edited by L.H. AHRENS, Pergamon press, Oxford and New York.
- PREVOT L. & LUCAS J. (1979) : Comportement de quelques éléments traces dans les phosphorites. *Sci. Géol. Bull.*, 32,1-2, 91-105, Strasbourg
- SCHIMMELT J.M & PHAN K.D. (1981) : Application de la détection gamma multicanaux à l'étude des conditions d'altération récente des gisements d'uranium européens. Etude ARMINES,

## URANIUM DANS PHOSPHATE DES GANNTOUR

- E.N.S des Mines de Paris, Fontainebleau, France (inéd.).
- SLANSKY M. (1977) : Répartition et possibilités de concentration de l'uranium dans les phosphates sédimentaires. Intern. Atomic Energy Agency Advisory committee meeting on uranium deposits in Africa, Lusaka, 10p.
- SLANSKY M. (1980) : Géologie des phosphates sédimentaires, *Mém. B.R.G.M.* n°114,92p.
- CHELDON R.P (1959) : Geochemistry of uranium in phosphorites and black shales of the Phosphoria Formation. *Geol. Survey Bulletin* 1084-D, Washington.
- WADJINNY A. (1979) : Milieu de sédimentation et mécanismes de dépôt des "couches inférieures" de la série phosphatée de Ben Guerir (Ganntour, Maroc); une étude séquentielle. Thèse 3ème cycle, Université Louis-Pasteur, Strasbourg.

BORDEREAU DE SAISIE

**C.N.D**

MAROC



ISN	
NONAT A 110	
NAC A 090	013284
CODBI A 121	
COTRA A 122	

TYPREL A 141	T	G	B	R
NOAP A 142				
NACAF A 143				

COD'U										
INDEX A 010										
NAME A 020										
STATUT A 150	C	D	PAYS PROD. A 160	TYPE BIBL. A 171						
INDICATEURS BIBLIOGRA- PHIQUES	REUNION	DICTIONNAIRE	DONNEES NUMERIQUES	THESE	TEXTE LEGISLATIF	BIBLIOGRAPHIE	CARTES INCLUSES	RESUME	NON CONVEN- TIONNEL	REVUE
A 172	K	L	N	U	W	Z	Y	E	V	R

NIVUD A 131	A	M	C	NIV80 A 132	M	C	B
----------------	---	---	---	----------------	---	---	---

UNITE DOCUMENTAIRE (A/M/C)	A 210 AUTEUR ET AFFIL.	
	A 220 COLLEC- TIVITE AUTEUR	
	A 230 TITRE UD	
	A 240 A 250	TITRES TRADUITS . . . . . Utiliser le bordereau 2 : données complémentaires

SOURCE : DOCUMENT GENERIQUE (M/C/S/)	A 310 AUTEUR	
	A 320 COLLEC- TIVITE AUTEUR	
	A 330 TITRE DOCUM GENER	
	A 340	TITRE GENERIQUE . . . utiliser le bordereau 2 : données complémentaires
	A 410 TITRE PUBLIC EN SERIE	
	A 420 VOLNUM	100-52

NOTES D'INDEXATION

--

DATIN D 100	
DATSA D 110	
DATMI D 120	





**FIN**

النهاية

**31**

مشاهد

**VUES**