

La prospection de l'uranium dans les pays en développement – situation et tendances

par Paulo M.C. Barretto

LA PROSPECTION DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT

Depuis 1973, les pays en développement portent beaucoup plus d'intérêt à la prospection de l'uranium, comme en témoigne le nombre croissant de demandes d'assistance dans ce domaine adressées à l'AIEA par des Etats Membres. Bien que cet intérêt nouveau soit motivé par de nombreux facteurs, les mobiles principaux sont le désir des pays d'atteindre leur autosuffisance dans le domaine énergétique, le renchérissement régulier du pétrole et la hausse spectaculaire des cours de l'uranium. L'AIEA, pour répondre à ces demandes, a dû développer le soutien qu'elle apporte aux activités liées à la prospection par le biais de son programme d'assistance technique. Les figures 1 et 2 font apparaître la progression des activités dans le domaine de la prospection de l'uranium de 1971 à 1978. En 1978, 28 Etats Membres ont bénéficié de cette assistance sous les formes suivantes: i) services de consultants fournis aux gouvernements en ce qui concerne la prospection, l'exploitation des gisements, la législation, l'établissement des programmes et les questions connexes, ii) services d'experts et matériel, et iii) formation en cours d'emploi et dans le cas de bourses d'études pour le personnel du pays considéré.

Actuellement, de grands projets sont exécutés avec l'assistance du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) au Chili, en Colombie, au Pérou, au Tchad et à Madagascar, et des programmes de prospection de moindre ampleur reçoivent un soutien au Bangladesh, en Inde et au Lesotho. En outre, au moins six grands projets du PNUD en sont actuellement au stade de l'examen par les gouvernements ou à celui de la négociation; un projet devrait bientôt démarrer en Yougoslavie.

L'Agence soutient également des projets de prospection de l'uranium au titre de son programme ordinaire d'assistance technique dans les pays suivants: Bangladesh, Bolivie, Brésil, Chili, Equateur, Indonésie, Libye, Madagascar, Malaysia, Mali, Maroc, Pakistan, Pérou, Portugal, République de Corée, Sri Lanka, Thaïlande, Tunisie, Uruguay et Zambie.

L'accroissement des activités de soutien de l'AIEA en faveur de la prospection de l'uranium dans les pays en développement ressort clairement de la figure 3, qui indique les dépenses annuelles d'assistance en matière de prospection financées par le PNUD et par l'AIEA au titre du programme ordinaire.

Ces chiffres sont éloquentes. Ils traduisent une progression continue au cours des cinq dernières années. Compte tenu de cette tendance, ainsi que de l'effet de puissants facteurs

M. Barretto est membre de la Section des matières et du cycle du combustible nucléaires à la Division de l'énergie d'origine nucléaire et des réacteurs de l'AIEA.

DOLLARS

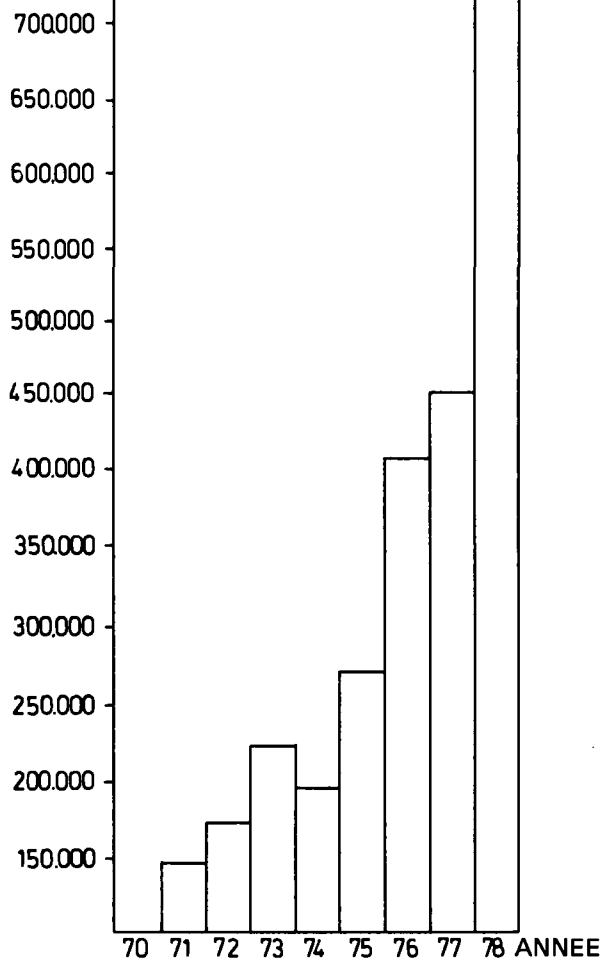
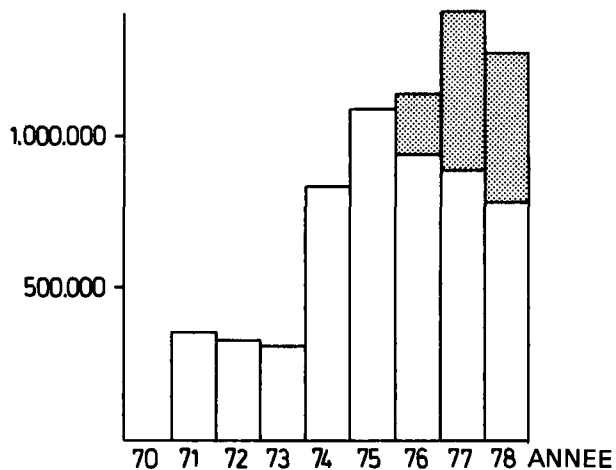


Figure 1.
Projets de l'Agence dans le
domaine des matières
premières nucléaires (Pro-
gramme ordinaire de
l'AIEA)

Figure 2.
Grands projets AIEA/PNUD



■ PROJETS PREVUS
□ PROJETS EFFECTIVEMENT EXECUTES

| COUNTRY | 1959 | 1960 | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 | 1965 | 1966 | 1967 | 1968 | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| AFGHANISTAN | | | | | | | | | | | | | | | |
| ARGENTINA | | EE | | EE | | | | | OP | | | | | | |
| BANGLADESH | | | | | | | | | | | | | | | |
| BOLIVIA | | | | | | | | | PR | | PR | | PR | | |
| BRAZIL | | PR | PR | OP | OP | | | | | | | | OP | | |
| BURMA | | PR | | | | M | | | | | | | | | |
| CAMEROON | | | | | | | | | | | | PR | | DR | |
| CHAD | | | | | | | | | | | | | | | |
| CHILE | | | | | | | | | | | | | PR | | |
| COLOMBIA | | | | | | | | | | | | OA | OA | | PR |
| ECUADOR | | | | | | | | | PR | | | | | | |
| EGYPT | | PR | | PR | | PR | | EE | EE | | | | PR | | |
| ETHIOPIA | | | | | | | | | | | | UT | | | |
| GHANA | | | | | | | | | | | | | | | |
| GREECE | | | | | | | | | | AM | PR | | | | |
| GUATEMALA | | | | | | | | | | | | | EE | | |
| INDIA | | | | | | | | | | | | | | | |
| INDONESIA | | PR | | PR | | OA | | | | | | | | | |
| IRAN | | OA | | PR | | | | | | | | | | | |
| IRAQ | | | | | | | | | | | | | | | PR |
| KENYA | | | | | | | | | | | | | | | |
| KOREA, REP. OF | | PR | | | | | | | | | | | | | PR |
| LIBYA | | | | | | | | | | | | AM | | | |
| MADAGASCAR | | | | | | | | | | | | | | | |
| MEXICO | | | OP | PR | PR | PR | | | | | | | OP | OA | PR |
| MOROCCO | | AM | OA | | | | | OA | | | | | EE | | PR |
| NICARAGUA | | | | | | | | | | | | | | | |
| NIGERIA | | | | | | | | | | | | | | UT | |
| PAKISTAN | | | | | | | | | | | | | PR | | |
| PARAGUAY | | | | | | | | | | | | | | | |
| PERU | | | | | | | | | | | | PR | PR | PR | PR |
| PHILIPPINES | | | | | | | EE | | | | | | | | |
| PORTUGAL | | | | | | | | | | | | | | | |
| SAUDI ARABIA | | | | | | | | | PR | | | | | | |
| SOMALI | | | | | | | | | | | | | | | |
| SRI LANKA | | | PR | | | | | | | | | | | | |
| SUDAN | | | | OA | | | | | | | | | | | |
| THAILAND | | OA | PR | | | | | | | | | | | | |
| TUNISIA | | | | | | | OA | OP | OA | PR | | PR | | | |
| TURKEY | | | | EE | | | OP | | | | | | | PR | PR |
| UGANDA | | | | | | | | | | | | | | | |
| URUGUAY | | | | | | | | PR | | | | | | | |
| VENEZUELA | | | | | | | | | | | | | | | |
| YUGOSLAVIA | | | | | | | | | | OA | | | | | |
| ZAMBIA | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXPERTS ON DUTY EACH YEAR | 1 | 12 | 13 | 11 | 8 | 9 | 9 | 6 | 8 | 3 | 3 | 6 | 18 | 17 | 17 |

Figure 3. Types d'assistance fournie: 1958-1979 (PNUD et Programme ordinaire de l'AIEA).

| 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | N° EXP | VALUE OF EQUIP. SUPPLIED US \$ | LEGEND |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|--------------------------------|---|
| | | | | PR | | | | | | 1 | 3 800 | ■ = PROJETS PNUD |
| | | | | SC | | | | | | 6 | 84 800 | ▬ = MISSIONS D'UN SEUL EXPERT |
| | | | | | | | | PR | OP | 4 | 68 800 | ▨ = SOUS-TRAITANCE |
| | | | | | | | | PR | OP | 6 | 112 900 | AM = MISSION GENERALE DE CONSEIL |
| | | | | | | | | | EE | 6 | 43 700 | EE = PROSPECTION ET EVACUATION DES RESERVES |
| | | | | | | | | | | 2 | 27 400 | IE = APPAREILLAGE, ELECTRONIQUE |
| | | | | | | | | | | 4 | 58 500 | M = MINERALOGIE |
| | | | | | | | | | | 9 | 325 200 | OA = ANALYSE DES MINERAIS |
| | | | | | | | | | | 6 | 56 800 | PR = PROSPECTION |
| | | | | | | | | | | 2 | 33 400 | DR = SONDAGE |
| | | | | | | | | | | 8 | 128 600 | UT = ENSEIGNEMENT UNIVERSITAIRE |
| | | | | | | | | | | 2 | 6 400 | C = CONSULTANTS |
| | | | | | | | | | | 1 | 9 800 | * = PROJETS APPROUVES POUR 1979 OU PROJETS APPROUVES ANTERIEUREMENT DEVANT ETRE POUR SUIVIS OU EXECUTES |
| | | | | | | | | | | 9 | 166 700 | |
| | | | | | | | | | | 1 | 9 800 | |
| | | | | | | | | | | 5 | 72 600 | |
| | | | | | | | | | | 2 | | |
| | | | | | | | | | | 1 | | |
| | | | | | | | | | | 2 | 9 400 | |
| | | | | | | | | | | 1 | 7 700 | |
| | | | | | | | | | | 3 | 34 200 | |
| | | | | | | | | | | 13 | 40 600 | |
| | | | | | | | | | | 7 | 78 500 | |
| | | | | | | | | | | 1 | | |
| | | | | | | | | | | 1 | 4 200 | |
| | | | | | | | | | | 9 | 634 500 | |
| | | | | | | | | | | | 23 500 | |
| | | | | | | | | | | 11 | 34 400 | |
| | | | | | | | | | | 5 | 93 700 | |
| | | | | | | | | | | 1 | | |
| | | | | | | | | | | 1 | | |
| | | | | | | | | | | 1 | | |
| | | | | | | | | | | 2 | 27 700 | |
| | | | | | | | | | | 1 | 6 200 | |
| | | | | | | | | | | 3 | 24 700 | |
| | | | | | | | | | | 5 | 14 800 | |
| | | | | | | | | | | 8 | 263 600 | |
| | | | | | | | | | | 1 | 29 900 | |
| | | | | | | | | | | 4 | 67 400 | |
| | | | | | | | | | | 2 | | |
| | | | | | | | | | | 1 | 22 100 | |
| | | | | | | | | | | 3 | 41 900 | |
| 6 | 18 | 17 | 17 | 23 | 33 | 28 | 33 | 29 | | 162 | 2 668 400 | |

de stimulation comme la flambée des prix de l'uranium et la nécessité pour la plupart des pays industrialisés de disposer d'approvisionnements assurés, on s'attend à ce que le nombre de demandes d'assistance technique pour la prospection et la production d'uranium continue à progresser au cours des prochaines années.

LES RESSOURCES EN URANIUM DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT

Bien que les ressources en uranium actuellement connues dans les pays en développement ne représentent qu'un faible pourcentage des réserves mondiales, il est certain qu'une part considérable des réserves qui restent à découvrir est située dans le monde en développement. Depuis 1975, cette part tend à progresser par rapport au total connu. Il convient de signaler à cet égard que la prospection de l'uranium est une entreprise de longue haleine, dans laquelle il s'écoule un délai considérable entre le début de la prospection et les découvertes. La plupart des pays en développement n'avaient pas d'activités de prospection de l'uranium il y a une dizaine d'années, et les découvertes qui sont maintenant faites dans ces régions sont le fruit de programmes de prospection systématiques, bien que modestes, menés dans quelques pays depuis longtemps.

Si l'on exclut les pays couvrant une très faible superficie, comme Hongkong, le Liban et les îles océaniques, près de 60% des pays en développement sont actuellement engagés d'une manière ou d'une autre dans la prospection d'uranium. L'intensité de cet effort varie évidemment selon les ressources humaines et financières de chaque pays, et il en est de même des mobiles de la prospection. Une évaluation de l'effort de prospection dans ces pays est cependant délicate, compte tenu des nombreux facteurs en cause et des fluctuations d'une année à l'autre des ressources affectées à cette entreprise.

Dans le tableau 1 ci-après on a tenté de mettre en lumière l'intensité de l'effort de prospection de divers pays en développement jusqu'à décembre 1978. Pour faciliter l'analyse, on a seulement pris en compte cinq degrés d'intensité. Les critères d'intensité appliqués étaient i) les investissements financiers consacrés à la prospection par l'Etat et/ou le secteur privé (y compris les investisseurs privés et étrangers), ii) le nombre de spécialistes affectés à la prospection (y compris les centres de recherche d'Etat et les universités), et iii) l'intensité et la continuité de la prospection au cours des cinq dernières années.

Parmi les pays cités dans le tableau 1, plusieurs ont des réserves connues de l'ordre de 1000 à 5000 tonnes d'uranium. Six d'entre eux ont des réserves signalées (ressources raisonnablement assurées) égales ou supérieures à 20 000 tonnes d'uranium dans la catégorie de coût de 80 dollars/kg. Le cas de ces six pays est étudié dans le tableau 2 ci-après, et les gisements et principaux sites uranifères dans les pays en développement sont indiqués dans les figures 4 et 5.

RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT

La plupart des pays en développement sont situés dans la zone tropicale, alors que les techniques de prospection de l'uranium couramment appliquées aujourd'hui ont été mises au point dans les pays industrialisés de l'hémisphère nord. Compte tenu des différences considérables entre ces régions et les zones tropicales du point de vue des effets du climat sur le sol et des conditions de surface, il n'est pas toujours possible, ni souhaitable, d'appliquer dans ces dernières les techniques ou les méthodes élaborées pour les zones plus tempérées. Il faut donc étudier et mettre au point des techniques et des matériels adaptés aux conditions régnantes en zone désertique et en forêt tropicale humide. Des études sont actuellement en cours pour déterminer par exemple les procédures optimales pour les

Tableau 1. Intensité de l'effort de prospection et de production de l'uranium dans divers pays en développement (non compris les pays à économie planifiée) en décembre 1978

I. EFFORT INTENSE

Algérie
Argentine
Brésil
Gabon
Inde
Iran
Niger

II. EFFORT ASSEZ INTENSE

Bolivie
Chili
Colombie
Empire centrafricain
Pakistan
Yougoslavie
Zambie

III. EFFORT MOYEN

Arabie Saoudite
Egypte
Indonésie
Libye
Mali
Mexique
Maroc
Nigeria
Paraguay
Pérou
Philippines
Portugal
République de Corée
Turquie
Uruguay
Venezuela

IV. EFFORT RESTREINT

Afghanistan
Bangladesh
Cameroun
Côte-d'Ivoire
Equateur
Ethiopie
Ghana
Grèce
Kenya
Malaysia
Ouganda
Soudan
Sri Lanka
Tanzanie
Tchad
Thaïlande
Tunisie

V. EFFORT TRES LIMITE

Birmanie
Congo
Costa Rica
El Salvador
Emirats Arabes Unis
Guatemala
Haïti
Irak
Jamaïque

Jordanie
Kampuchéa démocratique
Liban
Nicaragua
Panama
République Dominicaine
Sénégal
Sierra Leone
Syrie

Tableau 2. Réserves d'uranium dans plusieurs pays en développement*

| Pays | Ressources raisonnablement assurées (en tonnes d'uranium) | Ressources supplémentaires estimées (en tonnes d'uranium) |
|---------------------|---|---|
| Algérie | 28 000 | 50 000 |
| Argentine | 23 000 | 4 000 |
| Brésil ¹ | 62 000 | 58 000 |
| Gabon | 20 000 | 5 000 |
| Inde | 30 000 | 24 000 |
| Niger | 160 000 | 53 000 |

* Uranium: Ressources, Production et Demande, AEN/AIEA, décembre 1977.

¹ Chiffres de décembre 1978.

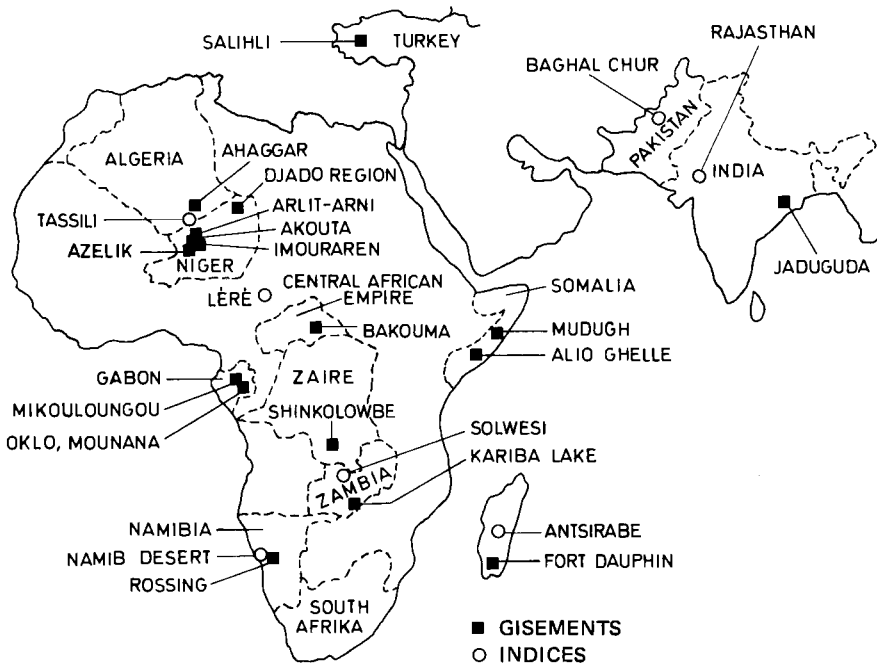


Figure 4. Gisements et principaux indices uranifères en Afrique et au Moyen-Orient (à l'exclusion de minéralisations associées aux phosphates).



Figure 5. Gisements et principaux indices uranifères en Amérique Latine.

levés radiométriques dans les zones à couverture du sol épaisse et à végétation dense, pour trouver des méthodes géochimiques appropriées à ces terrains, et pour expérimenter des méthodes d'extraction de l'uranium à partir des minéraux réfractaires qui abondent dans de nombreux pays en développement. On travaille actuellement, pour répondre à la demande générale, à mettre au point des moyens d'étalonnage pour le matériel radiométrique de prospection en surface, souterraine et aérienne.

RESSOURCES EN PERSONNEL

Un des meilleurs critères de l'intérêt porté par les Etats Membres à la mise en valeur des ressources en uranium est l'importance des demandes en matière de formation. Là encore, les chiffres révèlent un intérêt croissant (voir fig. 6). Il faut noter qu'indépendamment du programme de bourses, l'Agence patronne régulièrement des cours de formation; ceux-ci ont suscité un intérêt si vif qu'il a fallu refuser près de la moitié des candidats officiellement présentés.

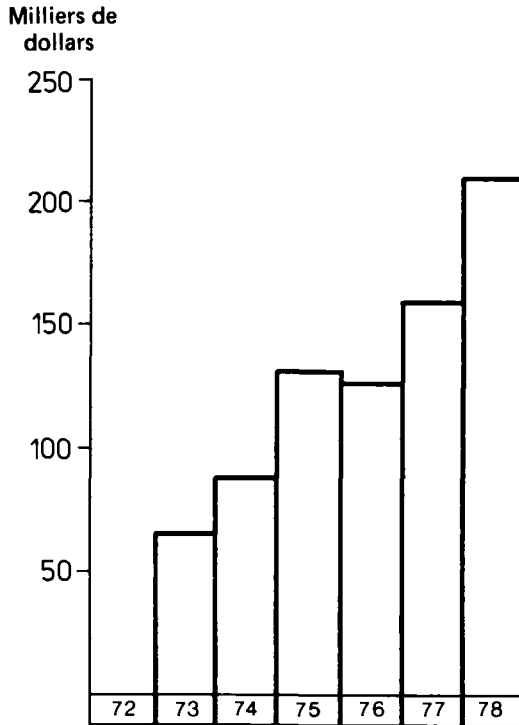


Figure 6. Activités de formation de l'Agence dans le domaine de la prospection et de la production d'uranium (1973-1978)

Il est prévu de continuer à organiser ces cours de formation, de nombreux pays ayant offert de les accueillir. Le prochain cours régional sur les techniques de prospection de l'uranium doit avoir lieu en mai-juin 1980 en Bolivie.

POLITIQUES NATIONALES

De nombreux pays en développement n'ont pas encore pris de décision officielle, au niveau national, quant à leur politique de prospection, d'extraction et de production de l'uranium, alors même que des programmes de prospection sont déjà en cours dans ces pays. Or, en l'absence d'une politique précise et d'une législation définissant les responsabilités des organismes nationaux et réglementant la participation de l'industrie privée (nationale ou étrangère), il ne peut y avoir de progrès réels dans ce domaine.

L'AIEA a récemment fait une étude sur les politiques de 50 pays en développement en ce qui concerne l'industrie de l'extraction de l'uranium et les mesures éventuellement prévues pour favoriser la prospection et la production. Cette enquête a révélé qu'un quart de ces pays n'avaient pas d'activité en matière de prospection de l'uranium et n'avaient pas, de ce fait, ressenti la nécessité de définir une politique ou d'adopter une législation en ce qui

concerne la prospection et la production d'uranium. Dans un tiers des pays, l'intérêt porté à l'exploitation des ressources en uranium s'est concrétisé par l'adoption d'une législation, et les activités de prospection ont été exclusivement menées jusqu'ici par le gouvernement. Quant aux pays restants, ils appliquent une législation permettant des accords et entreprises communes avec le secteur privé, national ou étranger.

En ce qui concerne les mesures prises par les gouvernements pour favoriser la prospection et la production, il est apparu que la moitié des pays étudiés n'encouragent pas la prospection, n'affectent que peu de crédits aux activités publiques, et n'autorisent pas non plus la participation du secteur privé. Un tiers de ces pays autorisent, ou autoriseraient éventuellement, les investissements étrangers, sans toutefois favoriser activement ces activités (dans certains de ces pays, des programmes de prospection assez importants sont exécutés par des organisations d'Etat). Quant aux pays restants, ils disposent dans ce domaine d'un appareil législatif et encouragent la participation des groupes privés.

Il ressort de cette enquête qu'un grand nombre de pays en développement pourront être amenés à formuler une politique nationale en ce qui concerne l'industrie de la production de l'uranium. Il est donc à prévoir que l'AIEA sera priée de fournir des services de conseil comme elle l'a déjà fait par le passé.

CONTRAINTES RELATIVES A LA PROSPECTION

Lorsqu'ils examinent les choix possibles pour l'évaluation et la mise en valeur des ressources nationales en uranium, certains pays en développement ne tiennent pas suffisamment compte des difficultés ou contraintes, telles que difficultés d'accès, manque de personnel et entraves législatives, qui peuvent condamner à l'échec un projet, si ambitieux soit-il. Les problèmes les plus couramment rencontrés à cet égard sont brièvement résumés ci-après:

Contraintes géographiques: Il s'agit d'un facteur important dans de nombreux pays. En ce qui concerne les contraintes de la prospection et de la mise en valeur dans les zones désertiques, il est clair qu'elles existent, mais les difficultés ne sont pas insurmontables; à cet égard des cas de réussite que l'on peut citer sont les gisements d'Arlit, d'Akouta et d'Azelit au Niger. La prospection est également difficile dans les régions occupées par la jungle ou la forêt tropicale humide; elle n'est cependant pas impossible, comme le démontre le cas du gisement de Bakouma dans l'Empire centrafricain. Il ne faut cependant pas perdre de vue que les coûts de prospection dans ces régions difficiles sont plusieurs fois supérieurs aux coûts dans les régions où les conditions d'accès sont satisfaisantes et où les méthodes existantes peuvent être facilement appliquées. Quant aux délais en cause, ils sont aussi nettement plus longs.

Difficultés de personnel: La pénurie de personnel suffisamment qualifié est une entrave sérieuse aux activités de prospection; de nombreuses années sont nécessaires pour constituer des organisations efficaces de prospection. Ce n'est pas non plus du jour au lendemain que l'on peut obtenir le personnel de support tel que chimistes, ingénieurs en électronique et mathématiciens, ou encore des avocats spécialisés en législation minière.

Problèmes d'occupation des sols: Les conflits de juridiction et d'occupation des sols dans les zones où sont faites les découvertes peuvent aussi retarder des programmes de prospection et/ou de production bien conçus au départ.

Entraves législatives: L'absence de lois, ou l'existence d'une législation qui ne formule pas de dispositions suffisamment détaillées et précises en ce qui concerne les investissements dans le secteur des matières premières nucléaires est sans doute le facteur qui entravera le plus à l'avenir l'exploitation des ressources en uranium dans les pays en développement.

UNE STRATEGIE EFFICACE DE PROSPECTION

La recherche de l'uranium, tout en ayant de nombreux points communs avec la prospection d'autres métaux rares dans la croûte terrestre, se distingue par le fait que l'élément recherché est naturellement radioactif. Les géologues ont donc tiré parti de cette caractéristique et élaboré des méthodes fondées sur la mesure du rayonnement gamma émis et/ou des produits de décroissance de l'uranium pour la détection des gisements. On exécute des levés radiométriques aériens et au sol très poussés avec des instruments sensibles, pour déterminer les zones d'anomalie de radioactivité. Comme le mécanisme de la genèse des dépôts de l'uranium est en grande partie compris, le géologue-prospecteur peut identifier les types d'environnements géologiques dans lesquels des concentrations de cet élément ont des chances d'être présentes. Les méthodes de prospection géochimiques et géophysiques sont aussi couramment employées pour déterminer la présence de l'uranium et de ses produits de filiation, en concentrations de l'ordre des parties par million, dans les roches, les sols, les gaz du sol, les sédiments fluviatiles et l'eau. Ces méthodes de prospection et leur interprétation géologique servent de guide pour la localisation des concentrations d'uranium et, en liaison avec les sondages, sont indispensables pour la réussite et le rendement économique de la prospection.

On a mis au point et éprouvé une stratégie d'ensemble dans laquelle les différentes techniques de prospection décrites ci-dessus sont coordonnées et appliquées d'une manière systématique et logique. L'expérience a montré qu'il ne suffit pas de mettre en œuvre des ressources financières et en personnel suffisantes, mais qu'il faut adopter une approche de ce genre si l'on veut, pour les moyens investis, obtenir des résultats fiables, sinon rentables. Cette technique, basée sur l'exécution séquentielle de diverses activités de prospection, a parfois été appelée "prospection coordonnée"; elle est pratiquée avec succès par des groupes de prospection dans le monde entier. Elle vise à évaluer le potentiel de ressources en uranium de régions étendues en considérant et en rejetant tour à tour les zones dans lesquelles les critères d'accumulation de l'uranium, d'après les diverses techniques de prospection, ne sont pas satisfaits. Ainsi, progressivement, le champ des activités de prospection se concentre sur une zone où il y a une probabilité plus forte de trouver un dépôt d'uranium. Les phases de cette méthode de prospection sont les suivantes: i) planification; ii) définition de la zone; iii) reconnaissance; iv) suivi; v) prospection/études détaillées.

Dans la prospection de l'uranium, une coordination de toutes les activités essentielles est capitale. On doit recueillir les données selon une méthode systématique et séquentielle, en évitant de sauter certaines étapes de la prospection pour poursuivre des résultats immédiats. Loin de déboucher sur des "raccourcis", ces pratiques n'aboutissent en fait qu'à gaspiller des ressources précieuses et à prolonger sans nécessité un programme de prospection d'une efficacité douteuse. Ce n'est qu'au stade final, une fois exécutées rationnellement toutes les étapes, une fois rejetées toutes les zones sans intérêt et une fois interprétées avec discernement toutes les données obtenues, que l'effort peut porter ses fruits: on procède alors à l'évaluation finale de la zone et l'on identifie un gisement éventuel. Mais cette approche nécessite des investissements considérables, un niveau de compétence élevé, une vaste expérience et beaucoup de temps; c'est pourquoi les pays en développement ne pourront le plus souvent se lancer dans des programmes efficaces de prospection d'uranium que s'ils sont guidés dans cette entreprise.