

Prospection, extraction et traitement des minerais

par Yu.G. Sevastyanov*

Actuellement, dans le monde entier, un grand nombre de laboratoires consacrent un travail considérable à la mise au point de techniques nucléaires pour les industries minières. Il y a plusieurs raisons à cela. Depuis que le charbon a retrouvé sa place au nombre des grandes sources d'énergie, il a fallu améliorer les techniques de prospection, l'analyse en continu dans la préparation et le traitement du charbon, et la régulation des chaudières dans les centrales électriques.

Le développement des techniques nucléaires a également bénéficié du renouveau de la prospection de l'uranium, en particulier aux Etats-Unis et au Canada, où l'on utilise couramment de nouvelles méthodes d'exploration radiométrique permettant de mesurer directement l'uranium. Par ailleurs, les améliorations apportées aux appareils de mesure du rayonnement gamma naturel permettent aussi de perfectionner le matériel conçu pour mesurer l'intensité du rayonnement gamma induit et non plus naturel.

Bien que seuls quelques laboratoires se spécialisent dans la mise au point de matériel pour la diagraphie pétrolière, l'amélioration des performances et l'élargissement de la gamme de mesure incitent à concevoir du matériel analogue pour la prospection d'autres matières minérales. Les réserves de certains minerais métallifères étant, comme on le sait, vraisemblablement près de s'épuiser, il importe de rechercher d'urgence de nouveaux gisements à teneur élevée.

Le séminaire d'Ottawa** a été une occasion de présenter aux participants, essentiellement des scientifiques d'Etats Membres en développement, les plus importantes techniques analytiques nucléaires actuellement utilisées et celles qui devraient offrir les meilleures possibilités d'application. Il a également permis de signaler les industries, notamment dans les Etats Membres en développement, qui bénéficient déjà de l'application des techniques nucléaires ou pourraient en tirer un meilleur parti. Il ressort de ce séminaire que plusieurs techniques nucléaires sont utilement employées dans l'industrie minière: l'analyse par fluorescence X à dispersion d'énergie; la mesure du rayonnement gamma naturel; les techniques gamma-gamma; et les techniques d'interaction avec les neutrons.

* M. Sevastyanov est membre de la Section des applications industrielles et de la chimie de la Division de la recherche et des laboratoires.

** Séminaire sur la technologie analytique nucléaire et ses applications dans la prospection, l'extraction et le traitement des minerais, organisé par l'AIEA et tenu à Ottawa (Canada) du 28 juin au 2 juillet 1982 sur l'invitation du Gouvernement canadien. Cinquante et un participants représentant 18 pays et une organisation internationale ont assisté à ce séminaire. Vingt mémoires ont été présentés au cours des huit sessions.

Les techniques de la fluorescence X à dispersion d'énergie sont au point pour l'analyse des minerais, l'extraction minière et le contrôle des opérations de traitement. Leur avantage principal est le faible seuil de la détection (environ quelques ppm pour la plupart des éléments) et la possibilité de mesurer simultanément les concentrations d'un nombre d'éléments pouvant aller jusqu'à 40. On a également conçu du matériel relativement simple pour mesurer la concentration d'un ou plusieurs éléments sur le terrain. Toutefois, les techniques présentent les inconvénients ci-après: petite taille des échantillons analysés; interférence entre des raies d'un élément avec celles d'autres éléments; pénétration limitée du rayonnement X excité.

Mesure du rayonnement gamma naturel: Les isotopes des éléments primordiaux U, Th et K émettent divers rayons gamma naturels que l'on peut mesurer au moyen de techniques tout à fait au point. Les principales applications sont la prospection de l'uranium, l'extraction de la potasse et l'étude de la stratification pendant la prospection du charbon et du pétrole. Les rayons gamma naturels sont aussi de bonnes indications de la présence de certains autres minéraux. (Par exemple, les dépôts phosphoriques ont une teneur élevée en uranium; le dosage de U permet ainsi de les localiser.) Les principaux inconvénients des techniques de mesure des rayons gamma naturels sont que le minerai considéré doit absolument être corrélé à U, Th ou K, et que l'on peut ne pas connaître le degré d'équilibre entre U, Th et leurs produits de filiation.

Techniques gamma-gamma: Bien qu'on puisse utiliser des techniques gamma-gamma sélectives pour l'analyse spécifique d'éléments à Z moyen et élevé en fortes concentrations (supérieure ou égale à 0,1%) dans des matrices à Z peu élevé, le développement intensif de ces techniques aux fins de la prospection ne semble pas offrir de bonnes perspectives. Les techniques gamma-gamma non sélectives sont réservées à la mesure de la densité. En général, la forte source gamma utilisée à proximité du détecteur nécessite l'emploi d'un blindage de configuration spéciale pour isoler le détecteur d'une exposition directe à la source. En outre, on doit recourir à des méthodes spéciales pour enfermer la source hautement radioactive.

Analyse par interaction avec les neutrons: En général, les techniques d'analyse par interaction avec les neutrons se caractérisent par un haut degré de spécificité et par une profondeur de pénétration allant de 20 à 100 cm. Ces deux propriétés sont intéressantes pour les analyses *in situ* en matière de prospection. Il s'agit de techniques multi-éléments qui permettent de mesurer (mais pas tous

en même temps) quelque 60 éléments, dans un ensemble donné de conditions d'irradiation neutronique et de matrices d'échantillons. Parmi les techniques utilisables, les plus importantes sont l'analyse de l'émission gamma instantanée accompagnant la capture de neutrons, la mesure de l'émission gamma accompagnant la diffusion inélastique des neutrons, et la mesure de l'émission gamma accompagnant la décroissance ultérieure des noyaux activés. Le choix dépendra de plusieurs facteurs, dont les plus importants sont: la section efficace de la réaction; l'abondance et l'énergie du rayonnement gamma; l'importance des réactions interférentes; la possibilité d'utiliser un détecteur à haute résolution et les contraintes imposées par la conception du système.

Sources et détecteurs de rayonnements

Pour appliquer les méthodes nucléaires à la prospection minière, on utilise diverses sources de rayonnement. Par exemple, les techniques de fluorescence X font généralement appel aux espèces radioactives ^{109}Cd , ^{241}Am , ^{55}Fe , ^{57}Co , et quelquefois ^{153}Gd et ^{244}Cm .

Les techniques gamma-gamma font appel à plusieurs sources radioisotopiques, dont les principales sont ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{57}Co et ^{60}Co .

L'analyse par interaction avec les neutrons permet l'emploi de diverses sources de neutrons. Pour l'application directe à la prospection des minerais, on donne la préférence aux sources isotopiques de neutrons, en particulier ^{252}Cf , $^{238}\text{Pu/Be}$ et $^{241}\text{Am/Be}$ parce qu'elles sont de faible dimension et ne sont pas tributaires d'une alimentation en électricité.

Pour détecter les rayonnements, on utilise essentiellement deux types d'appareils. Le premier est le détecteur de neutrons qui emploie généralement BF_3 ou ^3H . Le deuxième type de détecteur sert à détecter les photons (rayons X ou gamma). Les scintillateurs NaI(Tl) et les phosphores plastiques sont des détecteurs à faible résolution; les détecteurs à haute résolution sont faits de Ge(Li) coaxial, Ge coaxial de haute pureté et Si(Li) planaire.

Les spectromètres à faible résolution présentent l'avantage de ne pas nécessiter de réfrigération. Mais souvent, ils ne peuvent pas séparer tous les pics photo-électriques d'un spectre donné. En conséquence, on utilise généralement à cet effet des détecteurs à haute résolution.

Le séminaire a également noté que les techniques nucléaires jouent un rôle important dans la prospection et la récupération ultérieure des ressources minérales,

qui constituent une partie considérable de la richesse de certains pays. Elles ont été utilisées avec succès pendant plusieurs années dans la prospection minière souterraine et de surface. Par exemple, l'application de techniques nucléaires — essentiellement rayonnement gamma naturel, $(\gamma-\gamma)$, (n, n^1) , (n, γ) , $(n, \text{pulsé-}\gamma)$ et (n, p) — est courante dans l'industrie pétrolière. On met encore au point de nouvelles techniques pour lesquelles il reste à résoudre des problèmes d'interprétation des données et de conception du matériel. Dans les programmes de prospection charbonnière, les techniques de diagraphie nucléaire — en particulier $(\gamma-\gamma)$ et (naturel- γ) — sont essentielles. En outre, on mesure couramment la teneur en cendres du charbon par diffusion X à faible énergie. L'affinement des techniques neutroniques offre des perspectives intéressantes pour la mesure encore plus précise de la teneur en cendres, la mesure en continu de l'énergie calorifique et la détermination des concentrations d'éléments importants tels que le soufre, le chlore, le silicium, le calcium, l'aluminium et le fer — mesures qui sont nécessaires pour contrôler le rendement de la combustion de foyers industriels spéciaux.

En raison de la radioactivité naturelle de l'uranium, les techniques de mesure du rayonnement gamma ont été d'abord appliquées dans la prospection pour les levés de terrain. Ces dix dernières années, leur utilisation a été étendue à la diagraphie de sondages et aux levés aériens. L'utilisation des détecteurs de rayonnements, des appareils électroniques connexes et des systèmes de visualisation et de traitement des données les plus modernes est maintenant très généralement accessible.

Le matériel pour rayons X à faible énergie et gamma-gamma est déjà utilisé couramment pour contrôler le traitement des minerais métallifères dans plusieurs pays développés. On dispose maintenant de matériel tout à fait adapté aux besoins des pays en développement; toutefois, son utilisation correcte nécessite certaines connaissances techniques.

Le séminaire a également étudié l'emploi des techniques d'analyse nucléaire pour les applications marines. Des techniques nucléaires de pointe permettant d'évaluer la teneur en minerai des fonds marins et certaines techniques plus courantes peuvent être utilisées pour délimiter les placers, les gisements de phosphorite marine et les nodules de manganèse. Un grand nombre de ces gisements se trouvant au large des pays en développement (en particulier d'Asie du Sud-Est), l'utilisation prochaine de ces techniques offre des perspectives extrêmement intéressantes.