L'EMPLOI DES RADIOISOTOPES EN PHYTOPEDOLOGIE

L'agriculture est tributaire du sol pour plusieurs raisons, l'une des plus importantes étant que le sol contient les éléments nécessaires à la croissance de la plante et qu'il peut emmagasiner des éléments nutritifs ajoutés par l'homme (engrais). De plus, le sol constitue un milieu qui peut emmagasiner l'eau et en approvisionner les plantes sans submerger complètement leurs racines.

C'est pourquoi l'étude des caractéristiques du sol et des processus par lesquels les plantes peuvent absorber les éléments nutritifs qu'il contient est extrêmement importante pour la mise au point de méthodes de culture efficaces. Par exemple, une telle étude permet de déterminer le type et la quantité d'engrais à appliquer à un sol particulier ou à quel moment et de quelle manière il faut l'épandre. De même, une étude de l'humidité du sol montre quels sont les besoins précis d'une zone particulière en matière d'irrigation.

L'emploi des radioisotopes a beaucoup facilité ces études; il est très répandu à l'heure actuelle pour les recherches concernant la phytopédologie. Un récent colloque international sur l'emploi des radioisotopes dans ce domaine a montré les différentes manières dont les radioisotopes peuvent contribuer à améliorer la production agricole en facilitant les recherches sur les caractéristiques des sols et les relations sol-plante. Ce colloque, organisé sous les auspices de l'Agence internationale de l'énergie atomique et de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, s'est tenu à Bombay du 26 février au 2 mars 1962, à l'invitation du Gouvernement de l'Inde. Cinquante-deux spécialistes venant de 18 pays, notamment de pays en voie de développement pour lesquels le sujet est d'une importance capitale au point de vue économique, y ont participé.

A la séance d'ouverture, M. S.K. Patil, Ministre de l'alimentation et de l'agriculture de l'Inde, a souligné que l'amélioration des méthodes de culture ne pouvait contribuer à accroître la production agricole qu'à la condition que les sols puissent fournir aux plantes les éléments nutritifs appropriés ; c'est pourquoi il importait de comprendre les relations complexes existant entre le sol et la plante. Avant que l'on ne puisse utiliser les radioisotopes à cette fin, a poursuivi M. Patil, l'observation expérimentale directe était difficile dans la plupart des expériences sur la nutrition, mais il semble que le recours aux radioisotopes ait modifié la situation.

Le Président de la Commission indienne à l'énergie atomique, M. Homi J. Bhabha, a exposé les diverses mesures prises par les autorités indiennes pour développer l'emploi des radioisotopes dans la recherche agricole. M. Bernhard Gross, Directeur de la Division de la documentation scientifique et technique de l'AIEA, parlant au nom de l'Agence et de l'UNESCO, a souligné que les radioisotopes pouvaient jouer un rôle utile dans l'analyse des éléments nutritifs présents dans le sol, la mesure de l'humidité du sol, l'étude de l'absorption des éléments nutritifs par les plantes et la mise au point de méthodes d'utilisation rationnelle des engrais.

Tous ces sujets ont été discutés au colloque, où d'éminents spécialistes ont exposé les résultats de leurs recherches et de leurs expériences, au cours de huit séances. Les trois premières séances ont été consacrées à l'application des radioisotopes à l'étude physico-chimique du sol, les deux suivantes, aux applications des radioisotopes à l'étude de l'absorption par les plantes des éléments nutritifs contenus dans le sol. Aux sixième et septième séances, les participants ont examiné la question des mesures biologiques des caractéristiques du sol (c'est-à-dire des mesures

M. Homi J. Bhabha, Président de la Commission indienne de l'énergie atomique, prononce une allocution à la séance d'ouverture du colloque. A ses côtés, de droite à gauche: MM. S.K. Patil, Ministre de l'alimentation et de l'agriculture de l'Inde, Knut Mikaelsen (FAO) et Maurice Fried (AIEA), secrétaires scientifiques du colloque

faites sur les plantes elles-mêmes à l'aide des radioisotopes); à la dernière, ils ont discuté le rôle des radioisotopes dans les recherches sur l'emploi des engrais.

Chimie du sol

C'est peut-être pour l'étude des propriétés chimiques du sol, en particulier pour l'évaluation de la quantité d'éléments nutritifs utilisables par les plantes dans un terrain déterminé, que l'application des radioisotopes en pédologie a donné les meilleurs résultats. Plusieurs mémoires présentés au colloque de Bombay ont traité de la composition et des propriétés chimiques du sol eu égard aux besoins des plantes. Trois spécialistes de l'Université de Göttingen (Allemagne) (B. Ulrich, H. Lin et H. Karapurkar) ont donné un aperçu du processus selon lequel les phosphates solides se dissolvent dans le sol et sont ensuite absorbés par les plantes. Trois spécialistes des Etats-Unis d'Amérique (M. E. Harward, T. T. Chao et S. C. Fang) ont fait une analyse critique des propriétés et de la composition des sols eu égard aux processus qui interviennent dans la rétention des sulfates par le sol. Trois spécialistes français (L. Soubies, R. Gadet et F. Fourcassie) ont décrit la remontée des nitrates vers les couches supérieures des sols au cours des mois d'été; d'où la nécessité d'enfouir les engrais azotés à une profondeur supérieure à 15 cm chaque fois que le climat fait craindre une période chaude et sèche à l'époque de la croissance des végétaux.

Parmi les sujets intéressants discutés au cours de la réunion, il faut citer l'étude de l'influence des rayonnements ionisants sur les propriétés chimiques des sols. Il est bien connu que l'irradiation stérilise les sols; c'est pourquoi l'on s'intéresse beaucoup à l'emploi des rayonnements pour éliminer du sol les organismes nuisibles à la vie des plantes. Mais on n'a pas encore étudié d'une manière approfondie l'influence que de telles pratiques auraient sur les éléments nutritifs du sol. H. J. M. Bowen, du laboratoire de recherche de Wantage (Royaume-Uni), a présenté un rapport sur une série d'expériences traitant des effets des rayonnements sur certains éléments nutritifs du sol. Il a trouvé que ces effets sont relativement faibles pour la plupart des éléments. Comme la radiosensibilité varie beaucoup d'un organisme à l'autre, on peut utiliser des rayonnements d'intensité différente pour déterminer l'influence des divers organismes sur la fertilité des sols, tout en modifiant le moins possible l'équilibre des éléments nutritifs.

Deux spécialistes indiens, A. R. Gopal-Ayengar et K. B. Mistry, ont fait un exposé sur la radioactivité des plantes cultivées sur la côte occidentale de l'Etat de Kerala et dans certaines parties de l'Etat de Madras, dans l'Inde méridionale, où les sols contiennent beaucoup de minéraux radioactifs, notamment sous forme de monazite; c'est dans quelques-unes de ces régions que la monazite possède la teneur en thorium la plus forte du monde. Les spécialistes ont constaté que, de tous les radioisotopes de la famille du thorium (le thorium ainsi que ses descendants), c'était le radium-224 et le thorium-228 que l'on trouvait le plus abondamment dans les plantes étudiées; ils ont souligné que la présence de ces radioéléments dans les substances biologiques était dangereuse du fait de leur longue période.

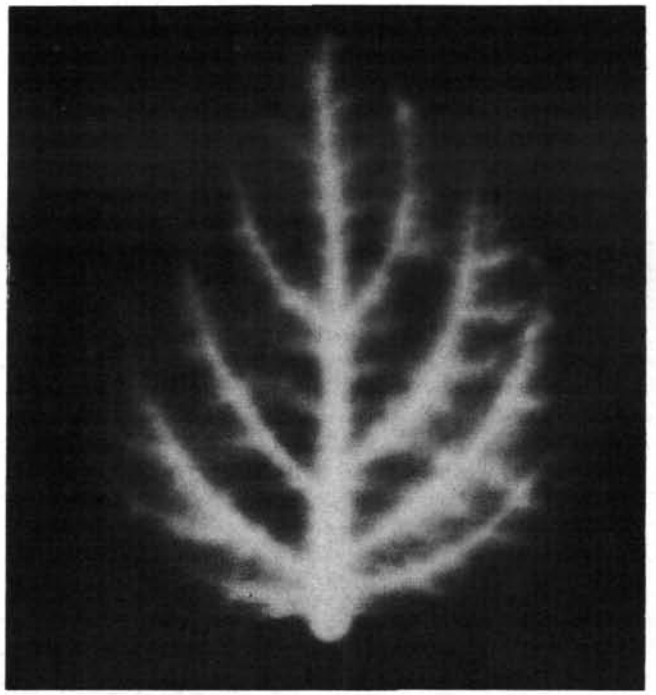
Propriétés physiques

Certaines propriétés physiques du sol telles que l'humidité, la température et le degré d'aération ont une influence décisive sur la croissance des plantes. On met au point des techniques radioisotopiques pour étudier ces propriétés; c'est dans l'étude de l'humidité du sol, propriété physique la plus importante pour l'agriculture, que l'on a obtenu les meilleurs résultats.

L'eau est indispensable à la croissance des plantes, non seulement parce qu'elle joue un rôle dans divers processus biologiques, mais aussi parce que, grâce à elle, les éléments nutritifs peuvent se dissoudre et être ainsi assimilés par les végétaux. C'est pourquoi il importe d'utiliser le plus rationnellement possible l'eau disponible et, à cette fin, de mesurer, avec précision, l'humidité d'un sol déterminé.

Une méthode simple mais précise a été mise au point pour mesurer l'humidité du sol. Elle est fondée sur le ralentissement des neutrons par les atomes d'hydrogène; l'eau étant le principal élément du sol qui contient de l'hydrogène, le ralentisseur des neutrons dans le sol est étroitement lié à l'humidité. L'appareil fondé sur ce principe est connu sous le nom d'"humidimètre à neutrons"; il consiste en une source de neutrons rapides placée dans le sol ou à la surface. Les neutrons qui rencontrent les atomes d'hydrogène de l'eau du sol perdent de leur vitesse et sont réfléchis vers un compteur enregistreur placé au voisinage de la source neutronique. La mesure du flux des neutrons ralentis permet ainsi de déterminer l'humidité du sol.

Plusieurs mémoires traitant de cette méthode de mesure de l'humidité du sol ont été présentés au colloque. Celui de quatre spécialistes français (C. Andrieux, L. Buscarlet, J. Guitton et B. Mérite) décrit un prototype d'appareil neutronique, fabriqué par le Commissariat français à l'énergie atomique, qui, selon eux, est parfaitement adapté à la production en série et qui a déjà été utilisé en Tunisie. J. Damagnez, un spécialiste français, détaché auprès du Gouvernement tunisien, a expliqué l'influence de divers facteurs tels que la nature et la densité du sol sur le taux de comptage des neutrons lents à l'aide d'un humidimètre. V. A. Emelyanov et V. I. Ossipov, de l'Union soviétique, ont traité de l'influence de la composition minéralogique du



Cette autoradiographie d'une feuille de menthe montre la distribution du phosphore radioactif dans les nervures; elle illustre des applications des radioisotopes à l'étude de la nutrition des végétaux (Photo Laboratoire national de Brookhaven)

sol sur les mesures faites à l'aide de l'humidimètre à neutrons.

S. V. Nerpine et A. M. Globus, également de l'Union soviétique, ont présenté un mémoire sur la thermodynamique et la cinétique de l'humidité du sol et ont expliqué comment la théorie en la matière a été vérifiée expérimentalement grâce à l'emploi de radio-indicateurs. Deux autres spécialistes de l'Union soviétique, M. P. Volarovitch et N. V. Tchouraev ont exposé les résultats de leurs recherches sur les caractéristiques hydrophysiques de la tourbe et sur les processus qui interviennent dans le mouvement de l'humidité dans les sols tourbeux.

Absorption et translocation des éléments nutritifs

Les mécanismes d'absorption et de translocation des éléments nutritifs par les plantes sont étudiés à l'heure actuelle à l'aide de radioisotopes; les résultats de recherches faites dans ce domaine ont été exposés dans un certain nombre de mémoires présentés au colloque.

H. Ziegler, U. Luettge et J. Weigl (République fédérale d'Allemagne) ont rendu compte d'expériences dans lesquelles l'absorption du sodium et du calcium radioactifs par des racines de jeunes plantes a été étudiée par la méthode microautoradiographique. H. H. Wiebe et R. L. Smith (Etats-Unis d'Amérique) ont présenté un mémoire sur l'influence du bicarbonate sur le mouvement des ions (forme sous laquelle les éléments sont absorbés par les plantes) vers les racines, et un autre, dans lequel ils discutent de l'influence du manque d'eau sur la translocation des éléments nutritifs dans les plantes, et montrent que la réduction de la translocation sous l'effet de la sécheresse risque de limiter la croissance.

S. S. Chaïne et V. A. Chirchov (Union soviétique) ont fait un exposé sur le mouvement du phosphore, du calcium et du soufre entre les plantes herbacées par l'intermédiaire de leur système radiculaire. Les expériences qu'ils décrivent montrent que 80 % au moins des isotopes radioactifs de ces éléments, ainsi que l'isotope stable de l'azote, introduits dans ces plantes par les racines ou par les feuilles, sont éliminés par l'intermédiaire des racines dans le sol, dans le sable ou dans le milieu aquifère au cours des premiers jours. Ensuite, ces éléments sont de nouveau absorbés tant par les racines de la plante initialement alimentée que par celles des plantes voisines. Ce processus se répète en s'étendant de plus en plus à partir de la source initiale.

Deux spécialistes américains, H. B. Tukey Sr. et H. B. Tukey Jr., ont signalé que les parties aériennes des plantes, notamment les feuilles, tiges et fruits, sont capables d'absorber des éléments nutritifs appliqués sur leur surface; il s'ensuit naturellement que ces parties peuvent également perdre de la matière à la suite d'un lessivage dû à l'action de l'eau ou de quelque autre solution aqueuse. Ces phénomènes ont été mis en évidence au cours d'études faites à l'aide de radioisotopes.

Mesure du phosphore assimilable

L'une des applications les plus répandues des radioisotopes dans les études de phytopédologie est celle qui permet de mesurer la quantité de phosphore du sol, qui soit aussi assimilable que le phosphore des engrais. Cette quantité, qui diffère de la quantité totale du phosphore contenu dans le sol, est désignée par la valeur "A"; il est très important de connaître cette valeur lorsqu'on veut déterminer la quantité d'engrais phosphatés à ajouter à un sol particulier.

La méthode fondamentale permettant de calculer la valeur de "A" à l'aide des radioisotopes peut être décrite assez simplement. Si on fait pousser quelques plantes sur un échantillon de sol auquel on a ajouté une quantité connue de phosphore radioactif, la mesure du phosphore-31 (stable) et du phosphore-32 (radioactif) absorbés par ces plantes mettra en évidence les quantités de phosphate provenant respectivement de l'engrais radioactif et du sol. Comme on connaît la quantité de phosphore-31 et de phosphore-32 dans l'engrais ajouté au sol, le rapport des activités spécifiques de la plante et de l'engrais phosphaté indiquera la

quantité de phosphore du sol aussi assimilable que le phosphore de l'engrais.

Au colloque, des spécialistes ont examiné diverses améliorations de cette méthode et ont rendu compte des résultats de recherches effectuées sur différents types de sols dans différentes conditions expérimentales. Par exemple, D. A. Rennie et E.D. Spratt (Etats-Unis) ont expliqué qu'en plaçant avec les semences un étalon de phosphore marqué, on peut déterminer, non seulement la quantité de phosphore du sol chimiquement assimilable, mais aussi la quantité relative de phosphore présente dans la zone radiculaire. M.A. Abdel Salam et S. Haschich (République Arabe Unie) ont décrit des expériences destinées à étudier l'influence des divers degrés d'humidité sur la fixation du radiophosphore par les plantes dans les sols arides.

E. Bottini (Italie) a signalé, pour déterminer l'absorption du phosphate, une nouvelle méthode fondée sur l'étude comparée de la nutrition par les feuilles et par les racines et, plus précisément, sur la vitesse de déplacement du radiophosphore dans la plante. Des études faites au Brésil à l'aide d'engrais marqué au radiophosphore ont été décrites par deux spécialistes de ce pays, L.N. Menard et E. Malavolta. Trois spécialistes argentins, A.H. Merzari, R.A. Ghelfi et E.O. Brenzoni, ont exposé une technique permettant de déterminer la teneur du sol en phosphore labile, en mesurant la quantité de radiophosphore absorbée non pas par les plantes mais par certains micro-organismes. Ils affirment que cette technique présente plusieurs avantages : en particulier, elle prend beaucoup moins de temps et les essais peuvent être répétés à volonté.

K.B. Mistry (Inde) a fait un exposé sur les expériences effectuées dans trois types de sols différents en vue d'étudier les effets résiduels des engrais phosphatés. C.G. Lamm (Danemark) a présenté une analyse des facteurs qui influent sur le rapport, dans les plantes, entre les quantités d'un élément nutritif provenant d'un engrais et les quantités provenant du sol.

Emploi des engrais

A la dernière séance du colloque, L.A. Dean (Etats-Unis) a donné un aperçu général des applications des radioisotopes à l'étude de l'emploi des engrais. Il a souligné que tous les problèmes touchant l'efficacité relative des engrais, le taux, l'époque et le mode d'application des engrais, l'influence des sols et des récoltes sur l'utilisation des engrais, ainsi que l'évaluation de la fertilité des sols, étaient étudiés depuis de nombreuses années, mais qu'avant la mise au point des méthodes radioisotopiques, les seuls critères d'appréciation du comportement des engrais étaient les effets sur la croissance et les variations de la composition chimique des plantes. Les principes de base régissant l'application des isotopes à l'étude de ces problèmes ont été discutés pour la première fois il y a une quinzaine d'années, et depuis, aux Etats-Unis, un millier environ d'expériences en serre et en pleine terre ont été faites à l'aide d'engrais marqués par des radioisotopes. Des expériences semblables ont été également effectuées dans d'autres pays.

Ces expériences, a expliqué M. Dean, font appel à deux des principes sur lesquels reposent les méthodes d'étude à l'aide d'éléments marqués, savoir : le transfert brut des ions venant d'une source spécifique et la méthode de dilution isotopique. La quantité d'un radioisotope trouvée dans une plante cultivée sur un sol auquel on a ajouté des engrais marqués représente le transfert brut à la plante de l'isotope venant de l'engrais ; on peut en déduire la quantité totale d'éléments nutritifs donnés par l'engrais à la plante. La méthode de dilution isotopique est fondée essentiellement sur l'incorporation d'une quantité connue d'une substance marquée à la substance à étudier, l'isolement d'une certaine partie du système où l'équilibre isotopique a été obtenu et la détermination de son activité spécifique.

Plusieurs chercheurs, a dit M. Dean, ont proposé d'autres applications du principe de la dilution isotopique à l'évaluation de la quantité de matières nutritives assimilables dans le sol. La plus simple a été proposée par M. Dean lui-même, et par M. M. Fried qui fait actuellement partie des cadres scientifiques de l'AIEA et qui a rempli les fonctions de secrétaire scientifique du colloque de Bombay. Ils ont supposé, ainsi qu'on l'a expliqué précédemment dans cet article au sujet des principes fondamentaux de l'évaluation de la quantité de phosphore assimilable dans le sol, qu'une plante mise en présence de deux sources de matières nutritives, le sol et l'engrais, absorberait la matière nutritive proportionnellement aux quantités assimilables. Une des conséquences intéressantes de cette hypothèse, a dit M. Dean, est que, malgré l'addition de quantités croissantes d'éléments nutritifs au sol sous forme d'engrais, la capacité du sol à fournir des éléments nutritifs (valeur de "A") reste constante. Ceci a été vérifié expérimentalement dans le cas de plusieurs éléments nutritifs.

M. Dean a souligné que le succès des recherches faites à l'aide d'engrais marqués dépendait dans une large mesure de la qualité et des spécifications de ces substances. Le radioisotope doit être incorporé à l'engrais de manière uniforme; l'engrais doit aussi remplir certaines conditions au point de vue de sa composition chimique et de son état physique et doit être comparable à ceux que l'on trouve dans le commerce.

M. Dean a, en outre, examiné les avantages respectifs des expériences effectuées en pleine terre ou dans les serres. Les résultats des expériences faites en pleine terre sont propres à des endroits, à des cultures, à des saisons, à des climats et à des sols bien déterminés ; le problème

est alors de tirer des conclusions générales à partir de ces résultats particuliers qui sont influencés par de nombreux paramètres non mesurés. Dans les expériences en serre, on peut contrôler plusieurs paramètres; mais il faut reconnaître que les résultats obtenus ne peuvent pas toujours être extrapolés pour des applications directes.

Au colloque ont été aussi présentés plusieurs mémoires traitant de certains problèmes plus particuliers concernant les applications des radio-isotopes aux recherches sur l'emploi des engrais. En outre, l'examen de chaque question a donné lieu à des échanges de vues très fructueux. Les séances ont été présidées par les spécialistes ci-après : S. Ahmed (Pakistan), H. J. M. Bowen (Royaume-Uni), L. A. Dean (Etats-Unis), A. R. Gopal-Ayengar (Inde), A. H. Merzari (Argentine), S. Nerpine (URSS) et H. W. Scharpenseel (République fédérale d'Allemagne).