

UTILISATION DE L'ENERGIE ATOMIQUE EN AGRICULTURE Perspectives d'avenir en Afrique

S. BOUYER

Institut de recherches agronomiques tropicales
et des cultures vivrières,
Paris, France

Abstract — Résumé

USE OF ATOMIC ENERGY IN AGRICULTURE: FUTURE PROSPECTS IN AFRICA. The methods by which atomic energy can be used in agriculture vary considerably, depending on the properties of the radiations emitted by radioactive isotopes.

Tracer techniques are now being applied very extensively. The phenomenon of isotope dilution has been used for making quantitative determinations. Interactions between radiation and matter have been used to induce chromosome mutations for the purpose of altering certain physiological functions or even for the complete destruction of certain living organs.

In soil science these techniques can be used to study various physical properties, the dynamic properties of fertilizer elements, optimum methods of fertilizer application, evolution of organic matter and certain phenomena of soil formation. In plant physiology it has been possible to explain certain phenomena in mineral nutrition and biosynthetic metabolism. In plant genetics some important mutations have been obtained by irradiation of seeds and other plant organs. In work concerned with plant protection these methods can help clarify questions of insect biology and pesticide behaviour in the soil and in plants; in certain cases they can also contribute to the elimination of harmful insects (release of males sterilized by irradiation). Nuclear methods could also be applied to the study of numerous physiological and biochemical processes of importance in animal husbandry. In addition, irradiation can also serve as a means of achieving improved food preservation.

Certain applications would appear to have priority as far as Africa is concerned, namely determination of soil moisture content by means of neutron gauges, study of the dynamic characteristics of certain fertilizer elements, rational utilization of fertilizers, plant physiology, obtaining radiation-induced mutations (in certain cases carefully chosen by experts), biology of crop parasites, sterilization of certain insects, animal physiology and the irradiation of various foodstuffs.

UTILISATION DE L'ENERGIE ATOMIQUE EN AGRICULTURE: PERSPECTIVES D'AVENIR EN AFRIQUE. En liaison avec les propriétés des radiations émises par les isotopes radioactifs, les modalités d'utilisation de l'énergie atomique en agriculture sont très variées.

La technique des traceurs est très largement utilisée. Le phénomène de dilution isotopique est mis à profit pour des déterminations quantitatives. Les phénomènes d'interaction des radiations avec la matière sont exploités pour provoquer des mutations chromosomiques, pour altérer certaines fonctions physiologiques ou même détruire complètement certains organismes vivants.

En science du sol on peut étudier certaines propriétés physiques, la dynamique des éléments fertilisants, les modalités optimales d'application des engrais, l'évolution de la matière organique, certains phénomènes de pédogénèse. En physiologie végétale, on a pu élucider certains phénomènes de nutrition minérale et de métabolisme biosynthétique. En génétique végétale, on a obtenu des mutations intéressantes par irradiation de semences ou d'autres organes de la plante. Les disciplines concernant la protection des végétaux peuvent préciser la biologie des insectes et le comportement des pesticides dans le sol et dans les plantes; il est également possible, dans certains cas, de faire disparaître des insectes nuisibles, en lâchant des mâles rendus stériles par irradiation. En zootechnie, on pourrait étudier de nombreux processus physiologiques et biochimiques. Il est possible enfin d'obtenir, par irradiation, une meilleure conservation des denrées alimentaires.

Certains domaines d'application semblent prioritaires pour l'Afrique: détermination de l'humidité des sols par la sonde à neutrons, étude de la dynamique de certains éléments fertilisants, utilisation rationnelle des engrais, physiologie végétale, obtention de mutations radioinduites dans certains cas bien choisis par les spécialistes, biologie des parasites des cultures, stérilisation de certains insectes, physiologie animale, irradiation de certaines denrées alimentaires.

INTRODUCTION

Libérée de la matière dans les centres nucléaires, l'énergie atomique s'est rapidement imposée comme instrument de travail dans les laboratoires. Les chercheurs ont compris les nouvelles possibilités d'investigation qui leur étaient ainsi offertes et, leur ingéniosité aidant, on en est arrivé à un nombre considérable d'applications dans les domaines les plus variés.

L'agriculture a été l'un des premiers domaines concernés; c'est surtout au niveau de la recherche agronomique que l'on utilise actuellement l'énergie atomique; dans certains cas, cependant, elle intervient déjà à une grande échelle dans la pratique agricole.

Il est difficile de faire sur ce sujet un exposé réellement synthétique et actualisé; on a affaire à des domaines très différents qui relèvent tous de spécialistes; d'autre part la littérature est très abondante et très dispersée.

Nous nous proposons de rappeler d'abord, dans cet exposé, quelles sont les diverses modalités d'utilisation de l'énergie atomique en agriculture, en fonction des propriétés particulières de cette énergie. Nous examinerons ensuite quelques exemples concrets d'applications, qui illustreront les perspectives d'avenir que l'on peut envisager pour l'Afrique.

1. LES MODALITES D'UTILISATION DE L'ENERGIE ATOMIQUE EN AGRICULTURE

Les réacteurs nucléaires mettent actuellement à notre disposition tout un arsenal de nouveaux nucléides, les isotopes radioactifs. Il existe d'ailleurs également des isotopes radioactifs naturels, qui ne sont pas le fait de l'intervention humaine: ^{14}C et ^{40}K par exemple. Il faut rappeler aussi que ce ne sont pas les seuls isotopes radioactifs qui sont utilisables; certains isotopes stables, ^{15}N par exemple associé à ^{14}N , permettent des études intéressantes.

Les isotopes radioactifs sont caractérisés par un certain nombre de propriétés, qui sont mises à profit par les utilisateurs [1-3].

La principale est évidemment leur propriété d'émettre des radiations (alpha, bêta, gamma) qu'il est facile de déceler et de mesurer grâce à des appareils spéciaux. Il en résulte que partout où se trouvera un radio-élément, on pourra le détecter et le localiser exactement. Qui plus est, en raison de leur grand pouvoir de pénétration à l'intérieur de la matière, certaines de ces radiations peuvent être détectées sans que l'on ait à détruire ou altérer cette matière; c'est ainsi que l'on peut suivre le cheminement de l'élément dans les divers tissus d'une plante et son accumulation dans tel ou tel organe. C'est le principe de la méthode dite des «traceurs», car il existe une trace, au moins temporaire, de l'élément partout où il passe.

D'autre part, en raison de leur nature même d'éléments isotopiques, les isotopes radioactifs ont le même comportement chimique que les isotopes stables du même élément; ils ont la même dynamique ou le même métabolisme dans les milieux où ils sont introduits. C'est là une propriété très intéressante, car dans tous les processus de diffusion, d'échange, d'équilibre, de synthèse, de destruction, il n'y aura aucune différenciation entre les deux isotopes. La présence de l'isotope radioactif révèle donc la présence de l'isotope stable; si on les a apportés ensemble au début d'une

expérience, ils restent ensemble; on dit que l'isotope stable est «marqué»; cette technique du marquage permet de suivre le comportement d'un tel élément que l'on introduit dans un milieu, en lui adjoignant une petite quantité de traceur. Il faut signaler cependant que ce principe de l'identité chimique des deux isotopes n'est pas absolu; lorsqu'il existe une différence relative de masse importante entre les deux, leur dynamique peut être différenciée; c'est le cas, par exemple, pour l'hydrogène normal ^1H et le tritium ^3H ; on a signalé également que, dans le cas du carbone, les plantes utiliseraient ^{12}C plus rapidement que ^{14}C ; il faut alors tenir compte de cet effet de masse. On considère cependant que l'erreur commise est négligeable dans la plupart des cas et la méthode du marquage est très largement utilisée en biologie.

La méthode de dilution isotopique repose sur le même principe de non-différenciation des atomes de deux isotopes dans leur dynamique chimique. Mais elle va plus loin que les simples méthodes de traçage et de marquage, car elle permet la détermination quantitative de l'un des deux isotopes qui existe en quantité inconnue dans le système. En effet, si au bout d'un temps suffisant l'équilibre isotopique est atteint, l'activité spécifique est devenue uniforme dans tout le système; il suffit alors de déterminer cette activité spécifique dans une partie aliquote du système, facile à isoler (phase liquide par exemple); et connaissant la quantité totale d'isotope radioactif introduit, on en déduit la quantité totale inconnue de l'isotope stable qui préexistait dans le système; c'est la dilution isotopique directe.

Les modalités d'utilisation de l'énergie atomique que nous venons de citer reposent sur l'existence même des radiations et leur intensité; certes, cette intensité est mesurée à partir des effets des radiations, mais ce ne sont pas ces effets qui nous intéressent directement dans ce cas. Dans d'autres cas, par contre, ce sont précisément les effets sur la matière que l'on met à profit. Les radiations provoquent dans la matière qu'elles traversent des phénomènes physico-chimiques ou biochimiques complexes: ionisation, altération de certaines fonctions physiologiques, mutations chromosomiques, destruction de tissus, mort de l'organisme vivant. Il s'agit alors d'une modalité d'utilisation tout à fait différente, l'irradiation. Il faut en rapprocher les techniques qui utilisent l'interaction des neutrons avec la matière; ces particules, qui n'ont pas de charge électrique, peuvent perdre de leur énergie par collision avec les noyaux de la matière; il peut y avoir ralentissement, absorption ou fission.

Ce sont ces diverses propriétés et manifestations de l'énergie atomique qui sont mises à profit dans les domaines les plus variés de la recherche agronomique [4-7]. Nous en citerons quelques exemples.

1.1. Science du sol

1.1.1. Physique du sol [8, 9]

On détermine l'humidité du sol grâce à la sonde à neutrons, appareil dans lequel les atomes d'hydrogène de l'eau provoquent le ralentissement d'un flux de neutrons rapides.

On peut également étudier la circulation de l'eau dans le sol, en la marquant au tritium, pour voir dans quelle mesure joue «l'effet piston»,

qui consiste en un déplacement intégral de la solution du sol par l'eau d'infiltration; ce phénomène a été étudié par l'IRAT au Sénégal; il peut être intéressant dans la mise en valeur des sols salés.

Le densimètre gamma permet la mesure de la densité apparente du sol; il utilise l'interaction du rayonnement gamma d'une source de césium radioactif avec les électrons du sol; l'effet ainsi mesuré est en relation avec la densité.

Certaines recherches, enfin, peuvent être effectuées sur la structure (stabilité des agrégats), sur le travail du sol et sur son atmosphère (marquage avec l'isotope stable ^{18}O).

1.1.2. Chimie du sol [10, 11]

La dynamique des éléments fertilisants a fait l'objet de nombreuses recherches par utilisation de la dilution isotopique (azote avec l'isotope stable ^{15}N , phosphore avec le radiophosphore ^{32}P , potassium avec le radiopotassium ^{42}K) [12, 13].

Le dosage des oligoéléments, qui existent en quantité extrêmement faible dans le sol, est rendu possible par l'activation neutronique.

On a effectué des travaux importants sur le comportement du strontium radioactif, ^{90}Sr , dans les sols; contenu dans les retombées radioactives consécutives aux explosions atomiques, il est dangereux en raison de sa longue période, car il peut être absorbé par les plantes et se trouver ainsi dans les aliments de l'homme ou des animaux.

Enfin le vaste domaine de l'évolution de la matière organique dans les sols a été abordé par marquage au ^{14}C [14, 15].

1.1.3. Fertilité et fertilisation des sols [16, 17]

Il est possible de préparer certains engrais marqués, qui permettent l'étude de leur comportement et de leur utilisation rationnelle dans les divers types de sols. Un programme coordonné de recherches sur la fertilisation du riz et du maïs a été mis en œuvre par l'Agence internationale de l'énergie atomique dans divers pays d'Asie et d'Afrique.

D'autre part, on étudie actuellement les possibilités économiques de fabrication d'engrais à l'aide de l'énergie électrique provenant de l'énergie atomique.

1.1.4. Pédologie générale

La technique de datation au radiocarbone ^{14}C commence à être utilisée en pédologie [18].

On étudie également par la méthode des traceurs le phénomène de lessivage des profils pédologiques, ainsi que le déplacement de certains constituants du sol (sables).

1.2. Biologie végétale

1.2.1. Nutrition minérale des plantes [19-22]

On peut préciser, sur bien des points, les processus de l'absorption des éléments nutritifs par les racines et du transport de ces éléments dans

les tissus de la plante. La technique du marquage et l'autoradiographie sont très utilisées.

On a mis en évidence des phénomènes qui étaient mal connus ou même ignorés: excrétion de certains éléments par les racines, absorption du calcium par les gynophores de l'arachide, absorption foliaire d'éléments apportés en pulvérisation, lessivage foliaire par les pluies. La circulation des éléments dans la plante n'est pas un phénomène purement passif en liaison avec la transpiration, comme on le croyait auparavant; l'hypothèse des transporteurs sélectifs a été confirmée par certaines expériences.

En plaçant des sources radioactives à diverses profondeurs dans le sol, on peut suivre le développement du système racinaire, sans que l'on soit obligé d'ouvrir le sol et d'altérer ce système racinaire; on note simplement le moment de l'apparition de la radioactivité dans la plante, en fonction de la profondeur des sources radioactives. Cette technique est très utile pour l'étude de certains problèmes agronomiques: action des jachères, cultures associées, action de la couverture du sol.

1.2.2. Utilisation de l'eau dans la plante [23]

L'étude de la transpiration et du mécanisme de la résistance de la plante à la sécheresse est facilitée par l'utilisation de l'eau tritiée.

1.2.3. Biosynthèses

Nos connaissances sur la photosynthèse se sont considérablement améliorées grâce à la méthode du marquage avec ^{14}C ou ^{18}O . Il en est de même pour la synthèse des glucides, des lipides, des protides. On a mis en évidence le renouvellement permanent des constituants biochimiques dans les organismes (turnover). On a précisé le mécanisme des réactions enzymatiques.

1.2.4. Obtention de mutations radioinduites [24, 25]

Par irradiation de graines ou d'autres organes végétaux on a pu obtenir des mutations géniques ou chromosomiques.

1.3. Zootechnie [26-28]

Les recherches effectuées avec les radioisotopes portent sur la nutrition animale, les fonctions physiologiques, la biochimie, la parasitologie. On a étudié les déséquilibres alimentaires, le métabolisme des lipides, des acides aminés, des acides nucléiques, la synthèse du lait. D'autres études portent sur le sang, sur les vitamines.

1.4. Protection des cultures

1.4.1. Entomologie agricole [29-31]

La méthode du marquage est mise à profit pour l'étude de l'écologie et de la biologie des insectes nuisibles ou utiles aux cultures.

Elle permet également de préciser le comportement des insecticides dans le sol ou dans les plantes, leur mode d'action sur l'insecte et leur effet rémanent dans les denrées alimentaires.

La méthode d'irradiation, enfin, a permis dans certains cas d'obtenir des insectes mâles stériles qui, libérés dans une région infestée, ne peuvent plus assurer une multiplication normale; c'est ainsi que l'on a pu obtenir l'éradication complète, à Curaçao et en Floride, d'un diptère parasite du bétail (screw-worm).

1.4.2. Phytopathologie [32]

Par marquage on peut préciser la biologie de certains champignons parasites et le mode d'action des fongicides.

1.4.3. Herbicides [33]

On a étudié également par marquage au ^{14}C le comportement et le mode d'action de divers herbicides. On a ainsi pu expliquer les différences de sensibilité des plantes à ces produits.

1.5. Conservation des denrées alimentaires

1.5.1. Stocks de grains [34]

De nombreuses études ont été effectuées sur la stérilisation ou la destruction, par irradiation, des insectes qui causent de gros dégâts dans les stocks de grains.

1.5.2. Poissons séchés et fumés [35]

L'IRAT a collaboré récemment à des recherches, conduites par l'Association pour le développement des applications industrielles des rayonnements, sur la conservation des poissons séchés et fumés au Mali. La technique utilisée était l'irradiation, qui assure, suivant la dose utilisée, la stérilisation ou la destruction de l'insecte parasite, Dermestes maculatus.

1.5.3. Légumes et viandes [36-38]

Ici encore, l'irradiation assure une meilleure conservation de ces denrées alimentaires, par destruction des micro-organismes qui peuvent en provoquer l'altération. Dans certains cas cette irradiation est combinée avec d'autres traitements physiques ou chimiques.

2. PERSPECTIVES D'AVENIR POUR L'AFRIQUE EN MATIERE D'UTILISATION DE L'ENERGIE ATOMIQUE EN AGRICULTURE

Dans les Etats de l'OUA, où l'agriculture joue un rôle économique considérable, il est très souhaitable que soient mises à profit ces nouvelles techniques dont nous avons vu l'efficacité et l'intérêt. Mais il importe d'établir des priorités, en fonction des besoins propres de chaque Etat et en fonction des possibilités techniques et économiques.

Grâce à l'action de l'AIEA et grâce à des accords de coopération bilatérale ou multilatérale, des opérations sont déjà en cours dans de nombreux pays d'Afrique [39, 40]. Mais il reste beaucoup à faire et il faudrait prévoir une intensification des programmes et des moyens. Certaines études peuvent être effectuées en partie dans des centres étrangers bien équipés, pour des recherches de base en particulier; mais il n'en reste pas moins que, dans beaucoup de domaines, c'est sur place que ces études devraient être poursuivies. A cet effet, la création de quelques centres spécialisés, bien pourvus en personnel compétent et bien équipés en matériel, serait très utile.

Nous examinerons ci-après quelques domaines d'intervention qui nous semblent prioritaires.

2.1. Détermination de l'humidité des sols par la sonde à neutrons

L'importance du problème de l'eau en agriculture tropicale est bien connue. Dans les régions arides, le déficit du bilan hydrique des sols est le premier facteur limitant de la croissance des plantes. Si l'on pratique l'irrigation, il faut déterminer l'alimentation optimale des cultures, connaître le moment opportun pour amener l'eau, déterminer tous les paramètres de l'irrigation en fonction du sol, de la plante et des techniques culturales.

A cet effet, on utilise de plus en plus la sonde à neutrons, qui présente de nombreux avantages: les mesures sont rapides, précises et non destructives; on peut les refaire exactement au même endroit, ce qui permet de suivre, dans le temps, l'évolution du profil hydrique; l'appareil est facilement transportable. Son principal inconvénient réside dans les difficultés que l'on rencontre pour l'étalonnage. On pourrait, certes, effectuer cet étalonnage au champ, en utilisant la méthode gravimétrique classique; mais cette méthode est longue. On part actuellement des résultats d'analyse chimique du sol, qui donnent le pourcentage moyen de ses principaux constituants (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CO_3Ca , etc.) [41].

L'utilisation de la sonde à neutrons se répand de plus en plus en Afrique: Algérie, Sénégal, Côte d'Ivoire, Ghana, Niger, Kenya, Madagascar, etc. C'est ainsi qu'un important programme de recherches agronomiques, destiné à apporter des solutions rapides aux problèmes posés par la mise en valeur de périmètres d'aménagement hydro-agricole au Niger, vient d'être établi par l'IRAT, en liaison avec le Commissariat à l'énergie atomique français; ce programme comporte une très large utilisation des humidimètres à neutrons.

2.2. Etude de la dynamique des éléments fertilisants du sol

De nombreux sols tropicaux sont pauvres en éléments fertilisants et, lorsque l'on cherche à relever leur niveau de fertilité par apport d'engrais, on se heurte parfois à certaines difficultés. C'est le cas pour l'azote, par exemple, lorsque les accroissements de rendement constatés sont relativement faibles, même pour des doses assez élevées d'engrais. C'est aussi le cas pour le phosphore; les sols hydromorphes et ferrallitiques, en particulier, ont un pouvoir fixateur assez élevé à l'égard du phosphore et les engrais phosphatés peuvent être relativement peu efficaces ou même complètement inefficaces, même dans des sols carencés en phosphore.

2.2.1. Dynamique de l'azote dans les sols tropicaux

Il est important d'élucider le problème de la mauvaise utilisation de l'azote, qui se manifeste assez fréquemment. Il faut établir un bilan de l'élément dans le système sol-engrais-plante, en tenant compte des divers phénomènes possibles [42]: pertes d'azote par lessivage ou volatilisation; mauvaise nitrification dans les sols à engorgement temporaire; minéralisation de l'azote organique; réorganisation de l'azote minéral sous forme organique; gains d'azote par fixation symbiotique ou non symbiotique, ou par apport des pluies. L'utilisation de l'isotope stable ^{15}N est très utile.

2.2.2. Dynamique du phosphore dans les sols tropicaux

Dans les sols à pouvoir fixateur élevé, la détermination du phosphore labile, à l'aide du radiophosphore ^{32}P , se heurte à un certain nombre de difficultés [43]:

- L'équilibre du phosphore entre la phase solide et la phase liquide est tel que la quantité qui se trouve dans cette phase liquide est extrêmement faible;
- D'autre part certains résultats obtenus récemment laissent penser qu'une fraction non négligeable du ^{32}P introduit serait fixée sur le sol sous forme non labile; dans ces conditions, lorsque l'on applique la formule qui traduit l'équilibre isotopique, la quantité totale de ^{32}P que l'on fait intervenir dans le calcul est plus élevée que la quantité qui participe réellement à l'équilibre isotopique et le ^{31}P labile du sol (valeur E) est surestimé;
- Il semble qu'il y ait intérêt à effectuer la détermination de la valeur E en présence d'entraîneur, mais il importe de vérifier que cette technique n'a pas d'influence sur cette valeur E;
- Il existe également des difficultés dans le cas de la détermination de la valeur L.

2.3. Utilisation rationnelle des engrais

Nous avons fait allusion précédemment à l'efficacité des engrais dans les sols tropicaux. Même lorsque l'on ne constate pas d'effets anormalement faibles, il peut se trouver que la rentabilité de la fumure ne soit pas assurée. Il est donc très important, pour les pays en voie de développement où le prix des engrais est élevé et où la valeur marchande des récoltes est par contre parfois trop faible, d'étudier avec soin les modalités optimales d'application de ces engrais. Le problème présente de multiples aspects, en relation avec la forme des engrais à utiliser, la dose d'application, le mode d'application et le placement, l'époque d'application et le fractionnement, l'effet résiduel sur une deuxième culture.

On peut, certes, effectuer des expérimentations classiques dans lesquelles on met à l'étude ces divers facteurs de variation, sans faire appel à des engrais marqués; les rendements obtenus montrent bien quel est le traitement le plus rentable; si, de surcroît, on effectue l'analyse de la plante, on peut arriver à expliquer un meilleur rendement par une meilleure nutrition, par exemple. Mais on n'a pas forcément l'explication complète du phénomène.

On a constaté, par exemple, que le placement d'un engrais en profondeur, dans le cas d'une culture de décrue, augmente le rendement, alors

que son application en surface est inefficace; seule la technique de l'engrais marqué peut nous permettre d'affirmer, dans cette étude, par la présence ou l'absence de radioactivité dans la plante, que l'engrais a été absorbé dans le premier cas, alors qu'il ne l'a pas été dans le second.

De même, si l'application d'un engrais au semis est efficace, alors qu'une application trop tardive ne l'est plus, l'intervention d'un radioisotope pourra nous montrer que l'engrais a effectivement été utilisé dans le premier cas et pas dans le second.

Si, au lieu de prendre des cas extrêmes dans lesquels il y a efficacité ou non-efficacité de l'engrais, on considère une expérience dans laquelle deux traitements augmentent le rendement de façon inégale, le marquage peut encore nous permettre d'expliquer cette différence, si la radioactivité de la plante est plus élevée lorsque le rendement est lui-même plus élevé.

On peut enfin se faire une idée de l'efficacité relative d'un phosphate peu soluble par rapport à un phosphate très soluble; supposons que le phosphate soluble marqué, apporté seul au sol, donne une certaine activité spécifique dans la plante; si, dans un autre traitement, on ajoute un phosphate peu soluble au phosphate soluble marqué et si l'activité spécifique diminue, pour une même nutrition phosphorique, on peut en déduire qu'il y a eu intervention du ^{31}P de l'engrais peu soluble.

On peut aller encore plus loin, et traduire par un chiffre le pourcentage de l'élément trouvé dans la plante qui provient de l'engrais.

2.4. Physiologie végétale

Il s'agit là d'un domaine très vaste, dans lequel bien des études de base seraient susceptibles d'application pratique en agriculture tropicale. De nombreux exemples pourraient être cités: nutrition azotée des plantes, formation des glucides, etc.

La plupart de ces études pourraient être effectuées de façon rapide par la méthode du marquage.

2.5. Amélioration des plantes par obtention de mutations radioinduites

C'est encore un domaine très spécialisé, qui a donné lieu à de nombreuses études et controverses. S'il est exact que, dans les pays en voie de développement, il existe encore d'abondantes possibilités d'exploitation de la variabilité génétique naturelle ou des possibilités d'introduction de nouvelles variétés, il n'en reste pas moins que l'on a pu, dans certains cas, obtenir par irradiation des mutations intéressantes.

Certaines recherches ont déjà été entreprises en Afrique. Actuellement un projet EURATOM, confié à l'ORSTOM et l'IRAT, au Sénégal se propose l'amélioration du rapport paille/grain des mils.

C'est aux spécialistes qu'il appartient de décider du choix des opérations à envisager dans ce domaine de la radiogénétique. Il est certain que la coopération internationale a un grand rôle à jouer [44].

2.6. Biologie des insectes

Les dégâts causés aux cultures par les insectes sont extrêmement importants dans certains pays d'Afrique; le fait est d'autant plus grave qu'il peut y avoir parfois pénurie de denrées alimentaires, ce qui oblige

les gouvernements à importer de l'étranger. Pour lutter de façon efficace contre ces parasites, il est souvent nécessaire d'approfondir nos connaissances sur leur biologie et leur écologie; la technique du marquage s'est révélée très utile. Ici encore les études ont commencé en Afrique, mais elles doivent être intensifiées, en fonction des priorités qui seront établies par les spécialistes.

2.7. Eradication d'espèces d'insectes nuisibles par lâcher de mâles stériles

Il s'agit d'une technique délicate, qui exige de nombreuses études préliminaires de mise au point et également une étude économique de ses possibilités d'application dans un milieu donné. Le succès spectaculaire d'une opération de ce genre, entreprise contre la lucilie bouchère aux Etats-Unis, a incité les chercheurs à étudier d'autres possibilités d'intervention; les plus connues sont les études entreprises actuellement sur la mouche méditerranéenne des fruits (*Ceratitis capitata*) et les études, conduites en Afrique orientale et en République centrafricaine, sur la mouche tsé-tsé; le succès de cette seconde opération aurait une répercussion considérable aussi bien sur le plan zootechnique que sur le plan médical.

2.8. Physiologie animale

La production animale est également un secteur extrêmement important de l'économie agricole de beaucoup de pays d'Afrique. Ici encore, le choix des priorités est affaire de spécialistes.

2.9. Irradiation de certaines denrées alimentaires

C'est un domaine qui pose des problèmes très délicats. Il y a encore beaucoup de recherches de base à effectuer sur les modalités optimales de l'irradiation et sur son influence sur la qualité des aliments. D'autre part, même si les problèmes scientifiques et techniques sont résolus, il n'est pas certain que la rentabilité d'une opération de type industriel soit assurée; il faut que soient réalisées des conditions favorables de collecte et de transport des produits à traiter, avec échelonnement sur la majeure partie de l'année; il faut aussi un tonnage minimal.

Une étude de ce genre a été effectuée au Mali, sur la conservation des poissons séchés et fumés; elle est bien avancée sur le plan technique, mais des difficultés subsistent quant à son application pratique. Une autre opération est actuellement envisagée au Niger, pour la désinsectisation des grains par irradiation (mil, sorgho, niébé) stockés par le société Sotramil à Zinder.

CONCLUSIONS

Les possibilités d'utilisation de l'énergie atomique en agriculture sont extrêmement variées. La fréquence des congrès et réunions d'experts consacrés à ces problèmes témoigne du grand intérêt qu'ils présentent; il faut se féliciter du rôle très actif joué, à ce sujet, par l'AIEA.

Les propriétés de l'énergie atomique constituent un excellent instrument d'investigation qui peut nous fournir, plus rapidement que les méthodes classiques, l'explication de phénomènes biologiques complexes. Elles permettent d'autre part des interventions de grande envergure dans certains domaines de la production agricole (irradiation). La plupart du temps il faut encore donner la priorité aux études de base; et, si l'on a pu dire que «l'utilisation de l'énergie atomique a jusqu'ici posé davantage de problèmes qu'elle n'en a résolu», il ne faut considérer cette appréciation que comme une boutade; il est normal, en effet, que l'application d'une nouvelle technique pose des problèmes au début.

Les Etats africains peuvent bénéficier de la collaboration de centres de recherches étrangers déjà équipés; mais tous les problèmes ne pourront pas être résolus par cette voie; la création de quelques centres africains, bien pourvus en personnel spécialisé et en matériel scientifique, est souhaitable.

Les études à effectuer ne sont pas uniquement de nature scientifique; dans beaucoup de cas il faut aller très loin dans l'évaluation des possibilités économiques de réalisation d'une opération donnée.

Il faut confier aux spécialistes l'établissement de listes de thèmes prioritaires, en fonction des problèmes qui se posent et de la possibilité d'en faire passer la solution dans la pratique agricole.

R E F E R E N C E S

- [1] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Laboratory Training Manual on the Use of Isotopes and Radiation in Soil-Plant Relations Research, Coll. Rapports techniques, n°29, AIEA, Vienne (1964).
- [2] HAÏSSINSKY, M., La chimie nucléaire et ses applications, Masson, Paris (1957).
- [3] CHASE, G. D., RABINOWITZ, J. L., Principles of Radioisotope Methodology, Burgess Publishing Company, Minneapolis (1967).
- [4] ORGANISATION DES NATIONS UNIES, Les isotopes radioactifs et les rayonnements ionisants en agriculture, en physiologie et en biochimie, Conf. int. util. énergie atom. fins pacif. (Actes Conf. Genève, 1955) XII, ONU, New York (1956).
- [5] GUERIN DE MONTGAREUIL, P., Les recherches françaises en agronomie nucléaire, Rapport CEA-R2524, Cadarache (1964).
- [6] EURATOM, Application of Atomic Energy in Agriculture, EUR 3163e, Bruxelles (1966).
- [7] BUSCARLET, L. A., L'énergie nucléaire au service de l'agriculture, Terre Malgache 1, Tananarive (1966) 201-19.
- [8] DON KIRKHAM, KUNZE, R. J., Isotopes methods and uses in soil physics research, Adv. Agron. 14 (1962) 321-58.
- [9] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Isotope and Radiation Techniques in Soil Physics and Irrigation Studies (C. r. Coll. Istanbul, 1967), AIEA, Vienne (1967).
- [10] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Radioisotopes in Soil-Plant Nutrition Studies (C. r. Coll. Bombay, 1962), AIEA, Vienne (1962).
- [11] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Isotopes and Radiation in Soil-Plant Nutrition Studies (C. r. Coll. Ankara, 1965), AIEA, Vienne (1965).
- [12] LARSEN, S., Soil phosphorus, Adv. Agron. 19 (1967) 151-210.
- [13] BOUAT, M., L'utilisation du potassium ⁴⁰ et potassium ⁴² en agronomie, Anns agron. 20 1 (1969) 89-104.
- [14] FAO-AIEA, The Use of Isotopes in Soil Organic Matter Studies, Report of a Technical Meeting (Brunswick-Vöikenrode), Special Suppl. J. appl. Radiat. Isotopes (1966).
- [15] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Isotopes and Radiation in Soil Organic-Matter Studies (C. r. Coll. Vienne, 1968), AIEA, Vienne (1968).
- [16] FRIED, M., «"E", "L" and "A" values», C. r. VIIIe Congrès int. Sci. Sol, Bucarest IV (1964) 29-40.
- [17] BROESHART, H., VOSE, P. B., FRIED, M., «A comparison of the efficiency of different nitrogen sources for rice, using ¹⁵N and ³²P labelled fertilizers, International Rice Commission, 11th Session, Kandy (1968).

- [18] BLOOMFIELD, C., «Radiocarbon Dating», Rothamsted Experimental Station, Report for 1968, Part 1, Harpenden (1969) 68-69.
- [19] FRIED, M., BROESHART, H., The Soil-Plant System in Relation to Inorganic Nutrition, Academic Press, New York and London (1967).
- [20] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Plant Nutrient Supply and Movement, Coll. Rapports techniques, n° 48, AIEA, Vienne (1965).
- [21] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Limiting Steps in Ion Uptake by Plants from Soil, Coll. Rapports techniques, n° 65, AIEA, Vienne (1966).
- [22] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Isotopes in Plant Nutrition and Physiology (C. r. Coll. Vienne, 1966), AIEA, Vienne (1967).
- [23] COSTES, C., FERRON, F., VAN ASSCH, E., J., DEROCHE, M. E., Recherches sur les transformations de l'eau dans les feuilles avec l'eau tritiée, *Annls Physiol. vég.* 6 4 (1964) 303-15.
- [24] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Mutations in Plant Breeding (C. r. Groupe d'études Vienne, 1966), AIEA, Vienne (1966).
- [25] APPLEBYARD, R. K., Euratom's Biology Programme 1964-1967, EUR 4199e (1968).
- [26] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Radioisotopes in Animal Nutrition and Physiology (C. r. Coll. Prague, 1964), AIEA, Vienne (1965).
- [27] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Isotopes and Radiation in Parasitology (C. r. Groupe d'études Vienne, 1967), AIEA, Vienne (1968).
- [28] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Isotope Studies on the Nitrogen Chain (C. r. Coll. Vienne, 1967), AIEA, Vienne (1968).
- [29] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Advances in Insect Population Control by the Sterile-Male Technique, Coll. Rapports techniques, n° 44, AIEA, Vienne (1965).
- [30] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Isotopes and Radiation in Entomology (C. r. Coll. Vienne, 1967), AIEA, Vienne (1968).
- [31] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Radiation, Radioisotopes and Rearing Methods in the Control of Insect Pests (C. r. Groupe d'études Tel-Aviv, 1966) AIEA, Vienne (1968).
- [32] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Isotopes and Radiation in Plant Pathology, Coll. Rapports techniques, n° 66, AIEA, Vienne (1966).
- [33] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Isotopes in Weed Research (C. r. Coll. Vienne, 1965), AIEA, Vienne (1966).
- [34] CENTRE EUROPEEN D'INFORMATION POUR L'IRRADIATION DES ALIMENTS, Irradiation des grains, irradiation des aliments, § 1-2, Saclay (1965).
- [35] ASSOCIATION POUR LE DEVELOPPEMENT DES APPLICATIONS INDUSTRIELLES DES RAYONNEMENTS, Désinsectisation des poissons fumés et séchés d'Afrique au moyen de l'irradiation, Paris (1967).
- [36] DE PROOST, M., L'effort belge en matière d'irradiation des aliments, C. r. II^e Symp. int. CAMIRA, Gand (1965) 667-72.
- [37] MANIL, P., «La radiopasteurisation et la radiostérilisation des aliments, Réalisations et tendances actuelles», C. r. II^e Symp. int. CAMIRA, Gand (1965) 673-85.
- [38] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Food Irradiation (C. r. Coll. Karlsruhe, 1966), AIEA, Vienne (1966).
- [39] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, L'Energie atomique dans les pays en voie de développement - Programme 1968-1969, Additif au Rapport de l'Agence au Conseil économique et social de l'Organisation des Nations Unies pour 1968-1969.
- [40] NATIONS UNIES - CONSEIL ECONOMIQUE ET SOCIAL, Note de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) sur les applications de l'énergie atomique en Afrique, Commission économique pour l'Afrique - 9^e session, Addis-Abeba (1969).
- [41] COUCHAT, P., «Détermination de la courbe d'étalonnage de l'humidimètre à neutrons à partir de l'analyse chimique des sols», Isotope and Radiation Techniques in Soil Physics and Irrigation Studies (C. r. Coll. Istanbul, 1967), AIEA, Vienne (1967) 67-82.
- [42] BLONDEL, D., «Premiers résultats sur la dynamique de l'azote minéral de deux sols du Sénégal», C. r. Coll. Fertilité sols tropicaux, Tananarive 1 IRAT (1968) 490-99.
- [43] BHAT, K. K. S., BOUYER, S., «Influence de la matière organique sur le phosphore isotopiquement diluable dans quelques types de sols tropicaux», Isotopes and Radiation in Soil Organic-Matter Studies (C. r. Coll. Vienne, 1968), AIEA, Vienne (1968) 299-313.
- [44] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Amélioration des plantes, Bulletin 9 3 (1967) 3-8.

Reprint from
"PEACEFUL USES OF ATOMIC ENERGY IN AFRICA"

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 5554 Pedro

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
VIENNA, 1970

11 JUL. 1972