

L'emploi des techniques nucléaires dans l'agriculture au Brésil

par P. Willstätter-Greig*

Coopération technique: voilà une expression qu'on emploie souvent aux Nations Unies. Elle peut désigner, et a désigné, des choses très diverses, qui vont du simple transfert de connaissances et de matériel (c'est ce qu'on appelait naguère l'«assistance technique») jusqu'à une authentique collaboration et à une assistance réciproque entre tous les intéressés. C'est ce dernier type de coopération entre associés, beaucoup plus exigeant, que l'on cherche à réaliser en Amérique latine.

L'Amérique latine est à bien des égards une région de contrastes — politiques, géographiques, économiques, climatiques, sociaux et technologiques. Elle contient quelques pays dont l'infrastructure technologique est bien développée et dont les niveaux de développement économique, social et scientifique sont relativement élevés. L'Argentine, le Brésil et le Mexique, par exemple, sont en train de devenir des pays industriels à part entière. Les autres pays de la région se situent à des niveaux très variés; quelques-uns sont encore au nombre des «moins avancés», mais la plupart sont plus ou moins à mi-chemin du développement. Il faudra probablement à ces derniers beaucoup de temps pour rejoindre les chefs de file.

Les résultats obtenus dans le domaine nucléaire dépendent pour beaucoup du développement technique; lorsque l'industrie et la technologie sont largement développées dans un pays, la base technique du nucléaire l'est aussi. Il n'est donc pas surprenant que, dans la région d'Amérique latine, les programmes nucléaires de divers types, y compris la production d'électricité à l'échelle industrielle, soient bien avancés en Argentine, au Brésil et au Mexique. La centrale brésilienne Angra I, par exemple, est déjà exploitée commercialement. La construction d'autres centrales nucléaires est assez avancée dans les trois pays. C'est dans ces pays en développement d'avant-garde que la coopération technique sous forme d'auto-assistance et de collaboration est la plus manifeste, comme l'illustre la description qui va suivre d'un projet récemment entrepris au Brésil.

Des compétences réunies sous un même toit

Il y a environ dix ans, le gouvernement du Brésil a demandé l'assistance du PNUD pour le Centro de Energia

Nuclear na Agricultura (CENA) afin de promouvoir l'emploi des techniques nucléaires dans l'agriculture. Ce gouvernement s'était rendu compte des services que pourrait rendre un centre où les compétences et les installations seraient réunies «sous un même toit», mais aucun des instituts du pays ne s'était à lui seul spécialisé dans ce domaine.

Le Brésil possédait pourtant alors de nombreux scientifiques compétents, et l'on y employait dans une certaine mesure des méthodes nucléaires, mais les compétences et les installations étaient disséminées dans tout le pays. C'est afin de coordonner ces activités qu'on a créé à Piracicaba le CENA, qui est rattaché à l'Université de São Paulo. En s'adressant au PNUD, le gouvernement entendait obtenir une assistance pour se procurer le matériel de laboratoire nécessaire et les conseils d'experts internationaux spécialisés dans les questions de production agricole. La première demande de projet, approuvée en 1972, prévoyait des spécialistes internationaux, du matériel, et la formation de personnel local au moyen de bourses et de voyages d'études. Le gouvernement s'engageait pour sa part à fournir les bâtiments, le terrain, du matériel et un personnel de contrepartie. On avait d'abord prévu l'achèvement du projet en 1978, mais l'assistance du PNUD se prolongea au long d'une deuxième phase qui prit fin en 1981. A partir de 1979, il y a également eu une assistance supplémentaire dans le cadre du programme ordinaire de l'Agence, qui fournit encore une aide actuellement. On trouvera plus loin un tableau indiquant la répartition des dépenses faites pour le projet.

Les chiffres montrent à l'évidence que la contribution du gouvernement brésilien*, même abstraction faite de près de 10 000 hommes-mois de travail fournis par le personnel national, a sensiblement dépassé la contribution internationale. La coopération internationale a donc servi à compléter un programme essentiellement national. La gestion du projet a été assurée en commun par le directeur du CENA et le directeur de projet international, ce dernier intervenant à titre consultatif et servant en même temps d'agent de liaison entre le gouvernement et l'AIEA. Les programmes de recherche pour lesquels on demandait des services de spécialistes internationaux ont été en grande partie élaborés et exécutés par le personnel de contrepartie. Cette démarche nationale dans la mise en œuvre de la

* M. Willstätter-Greig dirige la Section de l'Amérique latine à la Division des programmes de coopération technique de l'Agence. Le présent article a été rédigé d'après des documents relatifs aux projets exécutés sous la direction de M. P. Vose, directeur du projet PNUD/AIEA au Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba (Brésil).

* Notamment par l'intermédiaire de la Commission de l'énergie nucléaire du Brésil (CNEN) en vertu d'un accord entre ce dernier et l'université de São Paulo.

Dépenses faites pour le projet CENA DE 1972 à 1981

Source	Matériel (\$ des Etats-Unis)	Experts	Formation	Local			Total (\$ des Etats-Unis)
				Personnel spécialisé	Personnel auxiliaire local	Bâtiments et terrains (\$ des Etats-Unis)	
PNUD	804 999	216,3	207,8	—	—	—	2 010 878
AIEA	42 637	17	10*	—	—	—	143 734
Gouvernement	1 514 700	—	—	4533	5013	1 277 400	2 792 100**
Total	2 362 336	233,3	217,8	4533	5013	1 277 400	4 946 712**

Les chiffres relatifs aux experts ainsi qu'au personnel local spécialisé et auxiliaire sont exprimés en hommes-mois.

* Estimation.

** Sans compter le coût du personnel national mis à la disposition du projet.

technique nucléaire a ainsi servi, non seulement à renforcer l'indépendance scientifique du CENA, mais aussi à axer les recherches sur les problèmes agricoles pratiques.

Une recherche qui se suffit à elle-même

Le projet a non seulement atteint son objectif primitif, à savoir créer un centre compétent pour les diverses applications nucléaires en agriculture, mais il est aussi parvenu à se suffire à lui-même dans une large mesure. Son personnel est pleinement apte, non seulement à appliquer les techniques nucléaires existantes, mais aussi à en élaborer de nouvelles et à les introduire dans des programmes utiles et pratiques. On a par exemple fait œuvre utile dans l'exploration des ressources en eau de la région amazonienne, dans l'amélioration génétique des cultures vivrières essentielles (par exemple haricots, riz et blé), dans la conservation des produits alimentaires, dans l'emploi et le rendement des engrais, dans la nutrition végétale et animale et dans la parasitologie animale. Nous exposons ci-après les activités qui illustrent les principales directions de la recherche.

Engrais et fertilité des sols: Des progrès considérables ont été réalisés dans l'étude des éléments organiques du sol, et des recherches sont en cours sur l'effet de la vinhaça (déchet liquide du raffinage du sucre) sur la microflore du sol. On a, au moyen d'engrais marqués, déterminé les pratiques optimales de l'emploi des engrais. Le ^{15}N est actuellement employé pour mesurer la fixation de l'azote dans les cultures de légumineuses et autres. On a achevé des études de laboratoire sur l'évaluation du zinc et du manganèse du sol apportés au *Phaseolus* (haricot), et mis au point des méthodes de dosage de Zn et Mg total.

Microbiologie du sol: Grâce à l'agrandissement du laboratoire de microbiologie du sol on dispose maintenant d'installations permettant des transferts de culture et des préparations de milieux de culture. En étudiant

le *Phaseolus*, on a découvert que la pointe de l'activité nitrégénase au cours du développement de la plante a lieu avant l'absorption maximale de nitrate, comme le montre l'activité nitrate réductase. D'autres travaux ont montré que c'est la tourbe stérilisée par irradiation qui est la plus apte à favoriser la croissance des cultures de *Rhizobium* (fixateur d'azote). Un colloque international sur la fixation associative du protoxyde d'azote s'est tenu en 1979 et ses comptes rendus ont été publiés.

Biochimie des plantes: Les travaux dans ce domaine ont principalement porté sur l'étude des protéines et la culture de tissus végétaux. S'agissant du *Phaseolus*, on a déterminé la teneur en protéines et en acides aminés de la semence de diverses variétés. Les travaux se poursuivent pour la détermination des fractions caractéristiques de protéines des semences et des teneurs protéiques dans différents cultivars. Les travaux de culture de tissus ont principalement porté sur la régénération de plantules de canne à sucre à partir des cals, et l'on possède désormais une méthode couramment utilisée. On continue à s'efforcer de cultiver des embryons de *Phaseolus* et certains résultats récents laissent entrevoir une issue favorable; ces travaux devraient permettre d'employer de larges croisements de *Phaseolus* qui normalement ne donneraient pas de plantes viables. Un cours international sur les cultures de tissus végétaux destinées à l'amélioration des récoltes tropicales s'est tenu en octobre 1980.

Entomologie: Les études entomologiques ont porté sur les insectes qui s'attaquent aux céréales emmagasinées, sur l'emploi des rayonnements pour leur désinfestation, et sur l'écologie de la mouche cératite. On a également étudié la *Diatraea saccharalis* qui s'attaque à la canne à sucre, et fait à cette occasion une constatation importante, à savoir qu'un minimum d'application d'insecticide à la période critique peut donner des augmentations de rendement de 10% environ.

Sélection végétale et phytogénétique: On a procédé à des expériences de mutations induites sur le blé, le riz, le millet, la canne à sucre et le *Phaseolus* en vue d'obtenir des variétés d'un rendement supérieur. S'agissant du blé, on a surtout recherché le fondement génétique du raccourcissement des tiges et de la résistance au black-rot, ainsi que le moyen d'obtenir des mutants à maturation précoce. Pour le riz, on a surtout cherché à identifier des variétés de riz cultivable en terre sèche tolérant l'intoxication par l'aluminium et à déterminer l'efficacité de l'azothydru de sodium comme agent mutagénique par comparaison avec les rayons gamma. On s'efforce d'obtenir des variétés de canne à sucre et de *Phaseolus* résistant au virus de la mosaïque. On a donné en septembre 1980 un cours national sur la sélection des mutations.

Science animale: La première réalisation a consisté à créer des laboratoires bien équipés et une ménagerie. Des travaux sont en cours pour la mise au point d'un vaccin atténué par irradiation contre la strongylose pulmonaire du bétail, et les essais *in vivo* ont commencé. Les recherches dans le domaine de la nutrition ont porté sur les effets de la présence de phosphore dans la nourriture des ovins et bovins. Une étude sur l'emploi de déchets de canne à sucre pour l'alimentation des animaux doit commencer prochainement. D'une façon générale les travaux de science animale du CENA sont caractérisés depuis quelques années par une excellente coopération avec l'Instituto de Zootécnica de Nova Odessa.

Microscopie électronique: Des études sont en cours sur un bactériophage du *Xanthomonas campestris* (pathogène de la tomate); on a reconstitué les principaux stades de son cycle vital. Les travaux sur l'action de la Viramide sur le virus NPV qui s'attaque aux vers à soie sont terminés, et les recherches portent maintenant sur l'action d'un herbicide, le glyphosphate, sur diverses variétés de canne à sucre.

Instrumentation: Le groupe de l'instrumentation a étudié au moyen de rayons gamma les relations entre anneaux annuels et climat ainsi que la détermination de la circulation d'eau dans le bois. On a mis au point pour la détermination des anneaux annuels un système de balayage automatique avec enregistrement et analyse des données par ordinateur.

Physique du sol: On s'intéresse principalement au transport et à la transformation de l'azote, ce qui comprend la dynamique des composés de l'azote et leurs relations avec le mouvement des eaux. Ces problèmes, ainsi que ceux de la bonne utilisation de l'eau, ont été étudiés au sujet des haricots, du maïs et de la canne à sucre.

Hydrologie/écologie: Le monde entier s'intéresse à l'hydrologie du bassin de l'Amazonie en raison des conséquences écologiques que risque d'entraîner le déboisement. Le CENA effectue en collaboration avec l'Instituto Nacional de Pesquisa Amazônica (INPA) de Manaus des recherches sur les cycles de l'eau, du dioxyde de carbone et de l'azote, dont on attend d'importants résultats. D'après des constatations récentes, une forte proportion (48%) des précipitations de la région est recyclée. Ceci signifie qu'un déboisement important

risque d'affecter sensiblement le microclimat. De plus, on a entrepris des études sur la pollution des cours d'eau, et notamment du Piracicaba afin de mettre au point des procédés de lutte comportant l'emploi de mélanges de sol et de vermiculite.

Chimie analytique: De nombreux programmes, soit du CENA soit de ses collaborateurs, convergent vers le laboratoire d'analyses. Il exécute chaque année des milliers d'analyses d'échantillons de plantes, de sol et d'eau à l'appui de divers programmes de recherches. Il a acquis une compétence particulière dans l'analyse d'échantillons par injection dans le tube où circule un réactif ("flow injection analysis"), et le CENA fait aujourd'hui autorité dans le monde entier à ce égard. Dans la première phase du projet, il a reçu une aide considérable de l'office danois pour le développement international.

Le CENA, centre modèle?

Il y a dix ans, le CENA était un petit établissement national de recherche assez médiocrement équipé; il est aujourd'hui un grand centre de recherche agricole où l'on fait des travaux très évolués et très importants. C'est là un résultat remarquable si l'on considère la jeunesse de cette institution. Sa compétence est attestée par le fait que ses cadres supérieurs sont souvent appelés à faire fonction d'experts dans des projets internationaux. Institut spécialisé relevant de l'université de São Paulo, le CENA a aussi d'importantes activités d'enseignement. Plus de 40 étudiants sont d'ordinaire inscrits aux divers cours des trois années du premier cycle, et plus de 50 diplômés suivent les deux années du cours pour étudiants avancés intitulé «L'énergie nucléaire dans l'agriculture». Des boursiers venus d'autres pays de la région suivent également les cours supérieurs du CENA. Cette institution est donc pratiquement devenue capable de se suffire à elle-même. C'est là un résultat remarquable et rarement atteint dans le monde en développement. Certes, la contribution apportée par le gouvernement brésilien à son développement a été sensiblement plus forte que celle des sources internationales, mais ces dernières ont joué un rôle décisif dans la rapidité de ses progrès.

C'est ainsi par exemple qu'on a pu éluder certaines réglementations nationales en matière de devises étrangères, et obtenir du matériel et les services de spécialistes étrangers de façon plus expéditive qu'on ne l'aurait fait sans cela. C'est en grande partie pour cette raison que le CENA reçoit encore une petite assistance dans le cadre du programme ordinaire de l'Agence.

Dès ses débuts, le CENA a collaboré avec d'autres institutions. Au cours de ses quatorze années d'existence, il a établi des contacts avec plus de 40 établissements au Brésil et à l'étranger. La liaison est constante avec, par exemple, l'INPA à Manaus, l'IDESP* à Belém, le Planalçúcar**, les divers centres de l'EMBRAPA***, la

* Instituto de Desenvolvimento Econômico et Social do Pará.

** Programa Nacional de Melhoramento da cana de açúcar (Instituto do Açúcar e do Alcool).

*** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

CATI*, l'Instituto Agronômico de Campinas et de Londrina, l'Instituto de Zootécnica de Nova Odessa et le CIAT** en Colombie.

A l'échelon international, le CENA, outre ses contrats de recherche et autres accords avec l'Agence, accueille fréquemment des réunions et colloques régionaux et internationaux. De plus, certains des enseignements donnés au CENA à des boursiers font l'objet d'accords bilatéraux avec d'autres pays.

Les dirigeants du CENA ont compris que la réalisation de leur dessein initial exigeait la coordination des efforts entrepris pour créer les divers groupes et laboratoires. Les demandes d'assistance du CENA s'inspirent

* Coordenadoria de Assistência Técnica e Informação.

** Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali.

nettement de cette préoccupation: c'est ainsi par exemple que les missions assignées aux experts se spécialisent peu à peu et se rattachent de plus en plus à des recherches déterminées ou à certains de leurs aspects particuliers. La collaboration avec d'autres institutions, qui caractérise aujourd'hui de nombreuses activités du CENA, a été jugée indispensable pour maintenir l'orientation pragmatique des travaux du Centre, pour réduire au minimum les doubles emplois et pour accélérer le rythme des recherches dans divers domaines. L'ensemble de ces considérations a joué un rôle décisif dans le succès de cette entreprise.

Les conditions sont parfois très différentes dans d'autres pays en développement, où l'on ne dispose pas toujours des ressources financières et humaines dont a bénéficié le CENA, mais la voie suivie par le gouvernement brésilien et par le CENA est la bonne voie, et mérite incontestablement de retenir l'attention, sinon de susciter l'émulation des centres d'autres pays.