

La technologie nucléaire joue un grand rôle dans l'étude et l'utilisation de l'action réciproque entre le sol et l'eau. Le marquage et la mesure au moyen de radioisotopes sont des techniques irremplaçables dans les travaux de recherche sur les divers flux et processus, si l'on veut acquérir les connaissances nécessaires. Par ailleurs, les installations de dessalement associées à des réacteurs nucléaires deviendront importantes pour la production de grandes quantités d'eau douce à un coût acceptable.

L'AIEA et des centres de recherche nationaux et universitaires d'Israël poursuivent des travaux utiles dans ces deux domaines.

Sciences du sol et de l'eau dans un environnement aride

par M. Daniel Hillel, Professeur de pédologie à l'Université hébraïque de Rehovot, Israël

L'homme s'est rendu compte de l'importance du système sol-eau dans la nature et dans sa vie depuis l'aube de la civilisation et depuis qu'il a pris conscience de ses rapports avec son environnement. Les anciens Grecs considéraient le sol et l'eau comme deux des quatre éléments constituant l'univers. Les anciens Hébreux pensaient que l'homme lui-même avait été créé à partir de l'"affar" – littéralement, le matériau dont le sol est constitué – et qu'il était destiné à y retourner. Aujourd'hui, tout autant que dans l'antiquité, l'homme dépend finalement, pour sa survie, du système sol-eau et de la vie végétale dont celui-ci est le support.

Du fait de l'accroissement accéléré de la population, les terres et l'eau utilisables deviennent de plus en plus rares. En maint endroit, ces ressources précieuses sont mal utilisées ou le sont même abusivement soit en raison de connaissances insuffisantes, soit par souci du gain immédiat. Etant donné que personne ne saurait résoudre un problème sans le connaître, sauf par une coïncidence extrêmement fortuite, la saine gestion de l'agriculture et de l'environnement ne peuvent être, à long terme, que le fruit de connaissances scientifiques fondamentales. Il serait superflu d'énoncer ce simple truisme si les promoteurs n'étaient pas si souvent trop pressés ou trop impatients pour attendre les résultats de la recherche et ne cherchaient donc des formules raccourcies pour éviter ce qu'ils considèrent comme les "complications superflues de la science".

Un sage a dit que l'histoire de l'humanité a toujours été une course entre l'acquisition du savoir et le désastre. Tel un dragon à plusieurs têtes, le désastre qui menace l'humanité change sans cesse d'aspect. Autrefois les épidémies menaçaient des régions entières; puis, ayant peu à peu appris à vaincre les maladies, la médecine a involontairement préparé le terrain à une croissance démographique sans précédent qui a suscité une multitude de menaces nouvelles et imprévues. La menace de la faim pèse toujours sur nous malgré le développement de l'agriculture. Ce dévelop-

pement se traduit déjà lui-même par un nouveau danger de détérioration de l'environnement,

Par son caractère même l'agriculture modifie l'environnement. La nature est le théâtre d'une libre concurrence entre les nombreuses formes et espèces biologiques. Dès l'instant où l'homme défriche un terrain pour en faire un champ cultivé, il plie la nature à sa volonté en donnant la préférence à une espèce par rapport aux autres. Pour favoriser la croissance des plantes qu'il cultive, l'homme supprime toutes les autres espèces qu'il considère indésirables. Pourtant, en plein champ, ces espèces contre-attaquent constamment et réenvahissent le domaine qu'on leur a volé. Pour les combattre, l'homme a mis au point des moyens mécaniques, puis chimiques. D'abord, grâce à ces moyens il a obtenu des accroissements spectaculaires des rendements. Malheureusement, l'ironie du destin humain est telle que ce qui a été autrefois salué comme une véritable bénédiction s'est progressivement transformé en une nouvelle menace de désastre. Le champ cultivé, toujours ouvert sur l'environnement plus vaste dont il fait partie, transmet ses résidus et produits nocifs à l'air, à l'eau, aux animaux ou aux plantes. En fin de compte, ces poisons pourraient se retourner contre l'homme lui-même.

Pour lutter contre cette nouvelle menace, il faut acquérir de nouvelles connaissances et on ne peut le faire que par une recherche parfois inspirée mais le plus souvent ardue et laborieuse.

Le danger croissant de la détérioration de l'environnement a encore compliqué l'effort de développement de la production agricole qui est lui-même de plus en plus urgent.

Dans beaucoup de pays arides ou semi-arides, l'augmentation de la production agricole dépend d'abord de l'irrigation, c'est-à-dire de l'eau disponible. Considérons donc le problème de l'eau. Dans ce domaine, notre préoccupation tient à une pénurie mondiale croissante au milieu d'une abondance apparente. En effet, s'il est vrai que l'eau couvre presque les trois-quarts de la surface terrestre, on ne la trouve malheureusement pas toujours quand ni là où on en a besoin, ni en quantité ni de la qualité voulue. 97% de l'eau terrestre se trouvent dans les mers et océans, c'est-à-dire qu'ils sont trop salés pour la consommation ou l'irrigation. 2% sont pris dans les glaciers et les calottes glacières. Le restant n'est ni également réparti ni utilisé rationnellement. Pendant les 20 prochaines années, la demande mondiale d'eau doublera à mesure que les villes grandiront et que l'industrie et l'agriculture se développeront partout. Il faut encore 20 tonnes d'eau pour raffiner une tonne de pétrole, jusqu'à 250 tonnes d'eau pour faire une tonne d'acier et 500 tonnes d'eau pour produire une tonne de grains!

Le dessalement est un moyen de faire face au manque d'eau. Il est d'ailleurs l'un des plus anciens. Aristote enseignait que, en se transformant en vapeur, l'eau devient douce et la vapeur ne se condense pas en

eau salée. Jules César utilisait des cornues pour distiller l'eau de mer et étancher la soif de ses légions pendant le siège d'Alexandrie. Toutefois, le dessalement à grande échelle n'en est encore qu'à ses débuts et il ne se généralisera que dans quelques années. Même lorsqu'il sera économiquement réalisable du point de vue du prix de revient de l'eau, le transport de celle-ci vers l'intérieur posera encore des problèmes en beaucoup d'endroits. Le dessalement n'est pas la panacée dont le public a été amené à croire qu'elle se réaliserait sous peu, particulièrement depuis la hausse du prix de l'énergie.

Peut-être assurera-t-on un jour l'approvisionnement en eau et sa distribution en modifiant le temps. L'insémination des nuages est un premier pas dans cette direction mais on ne sait pas encore prédire le temps, encore moins le maîtriser.

Pour le moment, nous devons faire face à cette réalité inexorable que, bien qu'indispensable, l'approvisionnement en eau douce est strictement limité. Pour cette raison l'eau a fatalement engendré des différends. En droit romain, le mot "rival" lui-même s'appliquait à ceux qui partageaient l'eau d'un "rivus" ou canal d'irrigation. Si l'on ne peut augmenter l'approvisionnement, on doit au moins éviter le gaspillage et mieux utiliser l'eau disponible.

Près de la moitié de la population mondiale lutte pour subsister dans des zones semi-arides et arides où, par un cruel caprice de la nature, les besoins d'eau de la plupart des plantes sont les plus importants et où la quantité d'eau de pluie disponible est la plus faible. Cette contradiction affecte gravement les plantes cultivées qui, par leur physiologie et l'action réciproque entre elles et l'environnement doivent transpirer constamment tant qu'elles sont productives, et, en fait, transmettent des centaines de fois plus d'eau à l'air sec qu'elles n'en ont strictement besoin pour leur croissance. Dans les zones arides, le sort est donc très défavorable à l'agriculture et l'équilibre doit être rétabli par une irrigation et une conservation de l'eau intensives.

Le sol, en jouant le rôle de réservoir d'eau, permet la transpiration des plantes due au climat, qui est pratiquement constante, alors que l'approvisionnement en eau est intermittent et peu fréquent. Mais le sol est un réservoir qui fuit vers le bas par infiltration et vers le haut par évaporation. Pour mieux faire comprendre le sort des plantes au public, nous pourrions dire qu'elles vivent sous un régime qui prélève non pas 30 ou 40% de leurs revenus sous forme d'impôt, comme pourraient le faire nos gouvernements, mais 99% ou plus de l'eau qu'elles absorbent. Ou encore, imaginons que les plantes dépendent d'une banque qui serait quotidiennement victime de vols et de détournements de fonds.

Le rôle de l'agriculture est d'élaborer des produits chimiques – sucre, amidon, huile, protéines, cellulose, etc. Or, quelle usine de produits chimiques pourrait fonctionner efficacement si son approvisionnement en eau pouvait être coupé n'importe quand sans préavis! L'utilisation de

l'énergie dans les champs n'est pas plus efficace que celle de l'eau car plus de 90% de l'énergie des rayons solaires se dissipent généralement dans des processus autres que la photosynthèse, l'évaporation étant encore une fois l'un des principaux utilisateurs.

Il s'agit là de quelques-uns des problèmes fondamentaux auxquels sont confrontés les physiciens et les techniciens des sols dont les disciplines n'ont réellement pris corps que depuis environ 30 ans. Pour le physicien, le champ qui s'étend devant sa fenêtre n'est pas le cadre serein des poètes pastoraux mais un système dynamique soumis à un bouleversement constant et traversé par des flux incessants de matière et d'énergie. Quelques-unes des questions que pose ce système et auxquelles doivent répondre les physiciens et les techniciens du sol ont trait au sort de l'énergie solaire et à la façon dont elle se répartit lorsqu'elle atteint le champ, les interactions qu'elle provoque dans le sol et l'eau qui s'y trouve ainsi que les effets des flux d'eau, de solutés et d'énergie sur les processus de production des plantes. Pour être utile, la connaissance de ce système dynamique doit être quantitative. Il faut pouvoir mesurer les vitesses variables de processus simultanés, définir les rapports existant entre eux, prévoir comment ces vitesses pourraient être affectées par des interventions éventuelles. Les besoins physiques de la production agricole sont connus qualitativement depuis quelque temps mais, en termes quantitatifs, les données disponibles ne sont encore qu'approximatives et, parfois, elles le sont grossièrement. Même lorsque nos connaissances sont exactes, elles ressortissent parfois à un système plus idéalisé que réel. Par exemple, nous ne savons pas encore appliquer nos théories très exactes de l'infiltration aux terrains ou aux bassins hydrographiques réels qui sont hétérogènes à trois dimensions.

Qu'il soit indispensable d'améliorer nos connaissances pour assurer l'avenir de notre environnement et de notre agriculture, cela a été prouvé depuis longtemps par les échecs enregistrés aussi bien chez les anciens peuples de l'Orient que dans des pays modernes hautement développés. Aux Etats-Unis d'Amérique, par exemple, on a estimé que tous les nouveaux travaux d'irrigation actuellement en cours d'exécution compenseront à peine la superficie des terres devenues improductives. Quelques pays arides et semi-arides offrent des exemples effrayants de champs autrefois couverts de cultures prospères, maintenant réduits à la désolation par une salinisation pratiquement irréversible due à une mauvaise gestion du système sol-eau.

Israël a l'expérience d'une étude de cas du développement de l'agriculture dans un environnement aride. Considérons une étroite bande de terre étirée entre la mer et le désert, dont plus de la moitié est un pays de rocailles et de sables mouvants. La plus grande partie du terrain est constituée de sols trop peu profonds, trop pierreux, trop en pente, trop instables, trop salins ou incultivables pour d'autres raisons. Les terres cultivées représentent moins de 25% de la superficie du pays et elles se trouvent essentiellement dans les vallées, le long de la côte et au bord du désert.

Partout se posent des problèmes particuliers; les sols des collines sont souvent sujets à l'érosion, ceux des vallées sont parfois mal drainés, la plaine côtière est si peuplée que l'agriculture et l'urbanisation se contraignent fatalement et la région du Negev se caractérise par des sols instables, des chutes de pluie irrégulières et beaucoup de sécheresse. Malgré sa faible étendue Israël présente, du point de vue du développement et en raison de son hétérogénéité, toute une gamme de problèmes aussi variés et peut-être plus sérieux que ceux que rencontrent des pays bien plus grands. Il n'a pas non plus été possible de faire les travaux de recherche nécessaires avant d'entreprendre son développement étant donné l'urgence et la rapidité de ce développement. Il est remarquable que le pays ait presque pu parvenir à l'autonomie en matière de production agricole alors que sa population quadruplait en 26 ans seulement. Pourtant, il reste beaucoup à faire. Bien que cette production se soit fondée sur les meilleures connaissances scientifiques de l'époque, la recherche est maintenant plus nécessaire que jamais pour rectifier les erreurs passées et pour améliorer encore la gestion de l'agriculture de manière que la production se développe de pair avec la population du pays qui ne cesse de croître.

Près de la moitié des terres cultivées d'Israël sont maintenant irriguées. Pour y parvenir, l'Etat a dû mettre en valeur pratiquement toutes ses ressources en eau douce renouvelables chaque année. Le développement futur dépend donc de sources d'eau non classiques de plus en plus coûteuses telles que le dessalement et le traitement des eaux usées, ainsi que d'une rationalisation de l'emploi de l'eau encore plus poussée. Il se pourrait même que le développement de l'industrie nécessite finalement une réduction de la quantité d'eau consacrée à l'agriculture.

Ce problème n'a pas de solution simple. Il faut examiner et réexaminer chaque stade du processus de la production agricole pour trouver de meilleures méthodes d'utilisation de la terre et de l'eau. Dans l'agriculture israélienne, l'utilisation de l'eau se caractérise déjà par une efficacité extraordinaire, les pertes dues au transport, à l'application et aux fuites étant réduites au minimum. Il n'en demeure pas moins que les scientifiques israéliens ne peuvent se contenter des résultats obtenus et doivent poursuivre leurs investigations dans les domaines suivants:

- 1) *Méthode d'irrigation permettant de réduire encore les pertes et d'entretenir les meilleures conditions physiques et chimiques dans la zone des racines. La mise au point de l'irrigation à faible débit est intéressante à cet égard; elle offre de nombreux avantages potentiels mais elle doit, dans chaque cas, être soigneusement ajustée à la combinaison particulière que constituent les cultures, les sols, la qualité de l'eau et le climat.*
- 2) *La quantité optimale d'eau nécessaire pour diverses cultures dans différentes régions, selon le climat. Il faut en particulier examiner de plus près que par le passé la base physiologique de l'utilisation de l'eau et de la croissance pour déterminer*

quelles sont les phases critiques du cycle de la croissance et si le rendement économique peut ne pas varier de la même façon que la croissance du végétal.

- 3) Organisation de l'équilibre dynamique de l'eau des champs de façon à empêcher l'accumulation néfaste de sels dans le sol. Ce danger est particulièrement réel lorsque la surface piézométrique est élevée (ce qui peut nécessiter un drainage artificiel) et l'eau d'irrigation elle-même a une concentration assez importante de sels.*
- 4) L'aération du sol (qui est modifiée par le labour, le tassement et le régime d'irrigation), l'amendement et l'aménagement de la structure du sol sont d'autres aspects interdépendants de la gestion des terres qui affectent l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Toute pratique qui augmente le rendement des cultures sans augmenter la consommation d'eau est en fait une méthode tendant à accroître l'efficacité de l'utilisation de l'eau.*

L'imperméabilisation chimique des mottes de surface est une très récente innovation qui mérite particulièrement d'être mentionnée. Les mottes naturelles sont hydrophiles, c'est-à-dire qu'elles ont tendance à absorber l'eau, et les particules du sol se réorientent souvent de façon à former une croûte qui fait obstacle à la pénétration de l'eau, ce qui provoque des pertes par ruissellement et entraîne par conséquent un danger d'érosion. Les mottes imperméables n'absorbent pas l'eau mais la laissent pénétrer par les grands espaces qui les séparent. Une fois parvenue dans les couches plus profondes du sol, l'eau se conserve et peut être utilisée par les plantes cultivées car les mottes superficielles, qui sont toujours sèches, empêchent l'évaporation. En outre, la couche sèche de mottes imperméables empêche les mauvaises herbes de germer, rendant ainsi inutiles des travaux de culture répétés (consommateurs d'énergie et dommageables pour le sol) et les herbicides (qui peuvent avoir des effets secondaires néfastes sur l'environnement).

Il ne s'agit là que de l'une des nombreuses innovations possibles qui, à l'avenir, pourraient permettre à l'agriculture en zone aride de dépasser ses limites actuelles. Une modification de la composition de l'atmosphère (par exemple l'enrichissement en gaz carbonique) peut sembler irréalisable à ciel ouvert mais elle peut très bien se réaliser dans une enceinte en matière plastique. La modification d'un microclimat est possible grâce à des réflecteurs, des brise-vent et des abris. L'amélioration des plantes du point de vue de l'assimilation qui permet d'économiser l'eau semble également prometteuse. La tendance générale de la recherche agricole est de diagnostiquer le facteur particulier ou la combinaison de facteurs qui limitent la production dans n'importe quelle situation (qu'il s'agisse d'eau, d'éléments nutritifs, d'air, de résistance mécanique du sol, etc.) et de chercher à repousser ces limites une par une pour parvenir à une efficacité sans cesse accrue de la production.