

gène pour une plante et on confère à la plante, par génie génétique, la résistance adéquate.

LE REMÈDE ET LE MAL

Il est cependant impossible d'imaginer qu'on puisse se débarrasser des bactéries, des insectes ou des virus. La lutte est perpétuelle et sans relâche, d'autant que l'on perturbe un système écologique global.

Prenons l'exemple des fruits, symbole du paradis terrestre : n'importe qui a envie de manger des fruits, y compris les insectes, donc ils méritent une protection très forte à base de traitements insecticides. Hélas ces traitements détruisent aussi une flore utile des sols et font place nette pour la prolifération des nuisibles résistants dont on a éliminé la concurrence. Tout déplacement de l'équilibre peut empirer une situation.

Il subsiste des maladies, comme la maladie de l'orme, où il n'y a pas de produit, pas de solution agronomique : l'impossible est peut-être temporaire, mais tant que la solution est absente... vous ne pourrez jamais définitivement éliminer un champignon pathogène et, partant sa dissémination épidémique, d'autant qu'on ne met pas en œuvre les mêmes moyens pour sauver un arbre et pour sauver un homme.

On sait transformer les animaux en insérant de nouveaux gènes, et l'on sait aussi cloner ces animaux. Une équipe de Jouy-en-Josas a cloné des veaux, il y a maintenant quatre ans. Aujourd'hui l'INRA examine avec l'INSERM la possibilité de modifier les porcs, afin qu'ils puissent servir de porte-greffe pour l'homme. On touche, ce faisant, des problèmes éthiques car nous avons en tête le docteur Moreau qui transformait des cochons en hommes. Le public et aussi les chercheurs tentent de déterminer une éthique déterminant les responsabilités de la science, plus d'ailleurs que celle des scientifiques.

LES RAISONS DE L'IRRATIONNEL

Je crois à trois points. Le bien-être animal qui bien sûr doit être respecté ; nous tentons de mesurer ce bien-être, ce qui est difficile. Le monde agronomique porte une attention particulière aux animaux, qui ne sont pas considérés comme des cobayes, mais en tant que partenaires d'étude. Le deuxième point est le transfert de ces connaissances au cas de l'homme. Il faut se donner un impossible moral : ne pas conduire d'expériences inutiles et ne pas faire sur l'homme un certain nombre d'expériences qu'on fait sur l'animal. L'exemple typique est

le clonage des veaux. D'ailleurs quand l'INRA a fait son expérience, j'ai interrogé les scientifiques. Leurs réponses ont été satisfaisantes : les expériences sur les animaux clonés sont utiles car elles permettent de distinguer clairement ce qui est dû au génome de ce qui est dû à l'environnement. Elles permettent des recherches sur la résistance aux maladies ou sur la nutrition qui sont beaucoup plus économiques en termes animaux.

On ne peut voir avec la même indulgence les débuts de clonage d'embryons humains pratiqués aux États-Unis peu de temps après et cela avait scandalisé tout le monde. Il faut savoir cloisonner ce type de recherche. Dans les années 1986-1987, on avait trouvé une sonde d'acide nucléique qui se greffait spécifiquement sur le chromosome Y et déterminait si l'embryon était mâle ou femelle. Son utilisation chez l'Homme est interdite.

Le troisième point dépasse l'éthique, laquelle n'est pas toujours un garde-fou suffisant : le consommateur n'acceptera jamais des produits issus de traitements zootechniques qui leur paraîtraient déviants par rapport aux relations de l'homme avec l'animal.

Cette attitude irrationnelle a en fait un sens. Même si les hormones de synthèse sont en tout point identiques aux hormones naturelles, elles détruisent l'image du lait associé à la pureté : le public assimile l'injection d'hormones à un dopage. Les sensibilités sont évidemment dépendantes de la richesse du pays.

L'augmentation de la productivité est toujours une préoccupation, cependant, et c'est horrible à dire, les estomacs solvables sont saturés. Bien sûr, ces techniques pourraient être utiles dans les pays où le lait manque, mais, là encore, pouvons-nous préconiser dans les pays en développement des techniques qu'on ne voudrait pas utiliser ?

L'AGRICULTURE, SOURCE D'ÉNERGIE ?

L'utilisation de végétaux comme source d'énergie ou de molécules intéressantes est ancienne : jusqu'à la révolution industrielle, le bois de chauffage assurait l'essentiel de notre approvisionnement énergétique et, après le choc pétrolier des années 1973, nombre de scientifiques ont voulu exploiter l'énergie solaire.

La consommation d'énergie par habitant dans un pays développé comme le nôtre est de quatre tonnes équivalent-pétrole par habitant, dont 20 pour cent pour les transports, alors que le rayonnement solaire correspond à 280 tonnes équivalent en pétrole par habitant. Le second chiffre impressionne. Hélas, il faut

regarder le rendement : avec un rendement de conversion d'un pour cent, un tiers de la surface cultivable devrait être alloué aux transports. Or le rendement de la photosynthèse est entre 0,1 et 0,33 pour cent et de plus cette énergie est diluée alors que les énergies fossiles sont concentrées.

La rentabilité économique des biocarburants est encore inférieure à celle des carburants fossiles par un facteur de deux à trois et elle dépend de la fiscalité. Mais il subsiste un coût d'opportunité : un agriculteur peut avoir intérêt à mettre une jachère en production industrielle de biocarburants.

On cherche aussi à coupler la production de biocarburants à la création de produits à forte valeur ajoutée. Il y a une filière éthanol qui vient du blé et le sous-produit va en alimentation animale et il y a une filière diester avec le colza qui laisse du glycérol ; *Rhône-Poulenc* examine une chimie fondée sur le glycérol de manière à augmenter la valeur du tout. Parallèlement les matériaux biodégradables comme les huiles ou les détergents seraient écologiquement intéressants, car la pollution naissant de déversement d'huile, de vidange notamment, est une menace pour l'environnement. Toutefois, ces cultures ne doivent évidemment pas employer trop d'engrais à base de nitrates ou de phosphates.

LA CHIMIE VERTE

Les plantes sont des usines chimiques absolument extraordinaires : elles synthétisent ce que l'homme lui-même n'est pas capable de synthétiser très facilement et très spontanément. On part de l'énergie solaire et à la fin, grâce à cette usine végétale, on produit des molécules extrêmement complexes. On exploite cette capacité pour faire des médicaments et des produits de base de l'industrie chimique, et l'ingénierie génétique peut nous aider à produire des éléments à haute valeur ajoutée.

Les impossibles en agriculture sont rares, mais les progrès ne sont pas économiquement transposables d'un pays à l'autre. La difficulté majeure est celle d'un village agricole global interdépendant où les transferts, bénéfiques et maléfiques, sont rapides. La gestion de l'écosystème Terre reste à imaginer.

Guy PAILLOTIN est Président de l'Institut National de la Recherche Agronomique.

Ce texte est la retranscription du débat enregistré avec Émile Noël, qui sera diffusé sur France Culture le 8 mai 1996, à 9 heures.

Histoire de l'arc-en-ciel

JEAN-LOUIS RICARD

Plus de 2 000 ans ont été nécessaires à la compréhension et à l'élaboration de la théorie de ce phénomène naturel.

Pour les Scandinaves c'est un pont entre le ciel et la Terre, permettant aux dieux de venir sur Terre ; pour les Incas, c'est un cadeau du Soleil ; pour d'autres Indiens, c'est l'arc de guerre des dieux de l'atmosphère ou le chemin emprunté par les morts pour monter au ciel. Selon une légende irlandaise, un pot d'or se trouverait à chaque pied de l'arc-en-ciel. Le phénomène est parfois assimilé à un monstre ou à un serpent. D'après le culte des Fôn du Dahomey, en Afrique occidentale, le dieu Dan de la fécondité et de la richesse se manifeste sous la forme d'un arc-en-ciel qui encercle le monde, et il est symbolisé par un serpent qui se mord la queue.

Les poètes grecs de l'Antiquité l'identifient à l'écharpe multicolore de la déesse Iris. Fille du Titan Thaumas et de l'Océanide Électre, elle est sœur des Harpies, créatures répugnantes au corps d'oiseau et à tête de femme, ravisseuses d'enfants et d'âmes. Zéphyr, le vent d'Ouest, aurait été son époux. Elle est figurée sur des vases et sur des bas-reliefs vêtue d'une longue tunique, les cheveux retenus par un bandeau et des ailes aux épaules : elle porte une écharpe légère dont les couleurs au soleil font un arc-en-ciel.

Dans la Bible, l'arc-en-ciel est le symbole de l'alliance que Dieu a conclue avec l'homme après le déluge : la postérité de Noé n'a plus à craindre un nouveau déluge. Dans l'Apocalypse, l'arc-en-ciel apparaît autour du trône de Dieu sous forme de lumière. Ce phénomène naturel a été très souvent représenté, mais quelle en était l'interprétation ?

Aristote est le premier philosophe à s'intéresser à l'arc-

en-ciel. Dans les *Météores*, il suppose que les rayons solaires se réfléchissent sur la surface externe des gouttes d'eau du nuage et que l'ombre de ce dernier, mêlée aux rayons du soleil, produit les couleurs de l'arc. Selon Aristote, le nuage est une surface d'eau noire ; or, la lumière traversant une surface noire devient rouge, comme la flamme du bois qui brûle : c'est l'origine de la couleur rouge de l'arc-en-ciel. Aristote ne voit que trois couleurs, le rouge, le vert et le violet. Ces deux dernières couleurs sont dues à l'atténuation de l'intensité lumineuse avec la distance : une réflexion proche expliquerait la couleur rouge, une réflexion plus éloignée le vert et la plus lointaine, le violet. Les Grecs, et notamment Aristote, distin-

guaient mal la lumière de la vision. La théorie d'Aristote, peu compatible avec les théories actuelles, domina pourtant pendant près de 2 000 ans.

L'OPTIQUE ARABE

Les Arabes abandonnent la notion de rayon visuel émis par l'œil au profit du rayon de lumière issu de l'objet et pénétrant dans l'œil. Né à Bassorah, en Irak, en 965, et mort au Caire, en 1039, Alhazen comprend que la réfraction est un phénomène fondamental en optique. Il donne les lois de la réflexion, et établit des lois qualitatives observées lors de phénomènes de réfraction. Son *Discours de la lumière* ne sera imprimé en Occident qu'en 1572. Jusqu'à la fin du XIV^e siècle, l'optique arabe aura une influence notable ; elle ne sera supplantée par l'optique de l'Occident qu'à la fin du XVI^e siècle.

Ainsi, au XIII^e siècle, Robert Grosseteste, évêque de Lincoln et fondateur de l'école scientifique d'Oxford, s'intéresse à la réfraction. Il pressent que la réfraction est à l'origine des arcs-en-ciel, mais son interprétation est fautive. Il formule une loi erronée de la réfraction, où le rayon réfracté suit la bissectrice de l'angle formé par la normale et le rayon incident (depuis plusieurs siècles, Alhazen avait formulé une théorie plus élaborée). En 1266, constatant que des arcs-en-ciel apparaissent aussi dans des cascades, son disciple Roger Bacon émet l'idée que l'arc-en-ciel est produit par des réflexions dans les gouttes de pluie. Contrairement à Grosseteste, il ne mentionne pas la réfraction dans les causes possibles d'un arc-en-ciel.

À la même époque, à la fin du XIII^e siècle, le physicien et philosophe polonais Vitellion, reprend les hypothèses d'Alhazen et montre que la déviation des rayons lumineux par la réfraction est d'autant plus importante que le milieu est dense. Il comprend que ce phénomène intervient dans la formation des arcs-en-ciel. Son œuvre, méconnue, ne sera publiée qu'en 1572, en même temps que celle d'Alhazen.

C'est un autre dominicain, le moine Thierry de Freiberg (1250-1310), qui observe la réfraction à l'aide de flacons



Iris, parée de son écharpe, symbolisait l'arc-en-ciel pour les Grecs. Elle est représentée ici, sur un boîtier de montre.