JOURNAL DE LA SOCIÉTÉ STATISTIQUE DE PARIS

IVAN PEYCHÈS

Soleil, énergie et agriculture

Journal de la société statistique de Paris, tome 115 (1974), p. 317-326
<http://www.numdam.org/item?id=JSFS_1974__115__317_0>

© Société de statistique de Paris, 1974, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Journal de la société statistique de Paris » (http://publications-sfds.math.cnrs.fr/index.php/J-SFdS) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (http://www.numdam.org/conditions). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM
Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
http://www.numdam.org/

SOLEIL, ÉNERGIE ET AGRICULTURE

(Communication faite le 18 juin 1974 devant la Société de statistique de Paris)

Membre à part entière de la Société de statistique de Paris, Ivan Peychès, *membre de l'Académie des sciences, agrégé et docteur de l'État (Science physique) est un* Verrier *au sens le plus noble du mot. Il a fait carrière de chercheur à la tête des Laboratoires de Saint-Gobain et son imagination prospective l'a conduit à s'intéresser à l'énergie solaire par le biais des fours de Montlouis et d'Odeillo. Devenu le président de l'Association française pour l'étude et le développement de l'énergie solaire, il a collaboré récemment aux travaux du groupe « Énergies Nouvelles » du groupe interministériel « Évaluation de l'environnement », aux études préliminaires de l'Institut de la vie dans la perspective de la prochaine conférence mondiale sur le thème : « Un plan d'action pour l'humanité... »*

*Il faut enfin signaler qu'*Ivan Peychès *est le président, pour 1974, de la Société des ingénieurs civils de France (14 000 ingénieurs de toutes disciplines).*

Jacques-Michel DURAND

Secrétaire général

Nutrition is the most important concern for the future. The author shows what part the sun plays in this field in relation with the energy in agricultural matters.

Das Hauptproblem für die kommeneden Generationen ist die Ernährung. Der Verfasser zeigt die Rolle, die auf diesem Gebiet der Sonne zukommt in Verbindung mit der Elektrizität, gesehen vom Standpunkt der Landwirtschaft.

Devant la pullulation humaine — excusez ce terme qui à un relent péjoratif, mais qui décrit bien la réalité — le problème majeur auquel vont avoir à faire face les prochaines générations concerne l'alimentation. La pénurie de nourriture — y compris l'eau — que connaissent déjà d'immenses régions habitées peut devenir générale et endémique si un équilibre constamment réajusté entre l'énergie que nous délivre le soleil, la vie végétale, puis animale qui en dérivent, et la consommation que nous en faisons, n'est pas mieux maîtrisé. Chaque jour qui passe voit les surfaces dévolues par la nature à la photosynthèse grignotées par le béton, stérilisées par certains troupeaux, épuisées par une agriculture sauvage. L'air pollué se régénère mal autour des cités déboisées. La concentration en des

zones privilégiées, si j'ose dire, des centrales de production d'énergie déversera dans l'atmosphère des torrents de chaleur susceptibles d'altérer localement les climats.

Voilà les moindres maux qu'entraîne la conjonction d'une démographie galopante et d'un appel d'énergie démentiel.

L'agriculture et l'élevage ont pris la place, dès les époques préhistoriques, de la cueillette et de la chasse et ont permis le début de l'expansion de notre espèce. Cela était suffisant pour conserver l'équilibre entre les diverses formes de vie dans des territoires réduits et favorables. Or, de mystérieuses lois, génétiques ou psychologiques, font que les populations s'accroissent le plus vite dans les régions du globe les moins favorisées pour les nourrir. Les troupeaux et les hommes meurent de soif au Sahel, l'Indien meurt de faim mais se reproduit. Le revenu moyen, qui est une mesure commode sinon de la qualité de la vie, du moins du degré d'évolution atteint, est de 50 dollars pour le Chinois, contre 4 000 pour l'Américain. On considère que le point de basculement entre les pays nantis et ceux qui ne le sont pas — ou qu'on appelle pudiquement « en voie de développement » — se situe aux environs de 800 dollars par tête. Or, plus des deux tiers de la population du globe sont au-dessous de la barre et l'écart s'accroît au lieu de se résorber.

Les futurologues peuvent tirer toute une série de conséquences — d'ailleurs opposées — de cette constatation; mais ce qui est certain, c'est que la planète, qui après tout a une suface limitée, ne pourra indéfiniment accueillir le surplus de population humaine, protégée par des lois morales qu'ignorent les autres êtres vivants, avec le surplus des animaux et des végétaux nécessaires à sa subsistance, le tout constituant ce qu'il est convenu d'appeler la biomasse.

Cette biomasse est cantonnée dans une pellicule si mince à la surface du globe, si insignifiante à l'échelle cosmique, que nous pourrions parfaitement la négliger ou l'ignorer... si nous ne nous sentions pas directement concernés.

La vie terrestre est peut-être une nécessité inscrite dans les enchaînements moléculaires; mais les voies pour la réaliser étaient si nombreuses que nous ne pouvons que prendre acte de celle qui a réussi, sans tenter une analyse exhaustive de ce qui aurait pu être, et peut-être de ce qui pourrait être sur d'autres planètes. Un des carrefours qu'a connus l'histoire de la Terre nous a engagés vers l'immense développement du règne végétal.

Ce n'est pas pour rien que la chimie du carbone est appelée chimie organique. C'est sa position dans la colonne médiane de la classification périodique des éléments qui lui donne sa versatilité, son aptitude à se lier en longues chaînes, à former l'ossature des grosses molécules biologiques. Sur terre, le carbone est généralement combiné : les roches en contiennent 80 millions de milliards de tonnes; la mer, sous forme de carbonates et de gaz carbonique dissous, 50 mille milliards de tonnes; et l'atmosphère, sous forme de gaz carbonique libre, 600 milliards de tonnes. C'est cette part qui nous intéresse puisqu'elle constitue la nourriture de nos végétaux. On estime à 20 milliards de tonnes la masse de carbone fixée par les plantes terrestres au cours d'une année et il est présumé que les plantes marines en fixent de leur côté cinq fois plus.

Ayons en tête l'ordre de grandeur des 100 milliards de tonnes de carbone transformés par la photosynthèse en matière organique. Nous voyons que s'il n'y avait pas recyclage par la respiration et la fermentation des végétaux, tout le carbone mobile de l'atmosphère et des eaux serait épuisé et stocké sous forme solide en un temps relativement court.

Ce cycle du carbone est animé par l'énergie solaire, dont la double fonction apparaît ainsi clairement : le maintien de la température du globe dans les limites compatibles avec la forme de vie que nous connaissons, c'est une fonction thermodynamique; l'autre est la synthèse permanente de matériaux biologiques à partir d'éléments minéraux, c'est une fonc-

tion photobiologique. Les animaux sont incapables par eux-mêmes d'utiliser ces éléments minéraux et doivent se nourrir de végétaux, ou d'animaux ayant déjà assimilé ces végétaux. C'est donc le végétal, et la photosynthèse qu'il supporte, sur quoi repose toute vie sur terre.

En bons économistes, nous devons tout de suite nous inquiéter du rendement. Il faut reconnaître que la Nature ne nous a pas habitués à se montrer économe. Les moyens mis en œuvre pour la reproduction, par exemple, sont inénarrables quand on songe au gaspillage des vecteurs. Comment se retrouve l'énergie que nous envoie le Soleil lorsqu'elle se transforme au long d'une chaîne vivante?

Le Soleil émet dans son entourage une énergie fantastique, qui correspond à une perte de masse de 4 millions de tonnes par seconde; 4 millions de tonnes de lumière! Quand on pense que 25 millions de kWh électriques, ou 3 000 t de charbon, ne pèsent... qu'un gramme, en équivalent relativiste ($w = mc^2$)... La Terre n'intercepte qu'un demi-milliardième de cette énergie, car elle est bien petite et bien loin du Soleil. Mais cette faible part représente néanmoins une puissance de 180 000 milliards de kW — soit, entre parenthèses, plus de 10 000 fois la totalité de la puissance installée sur terre par l'homme. Cette puissance correspond à l'arrivée de $5 \cdot 10^{20}$ kcal atteignant le sol pendant une année. Si l'on brûlait tout le carbone fixé dans les végétaux pendant le même temps, on recueillerait moins de 10^{18} kcal. Le rendement pour la conversion thermique de la photosynthèse est donc globalement de l'ordre de 2 ‰. Ce n'est pas brillant! Pourtant, à l'échelle de la cellule, la conversion de l'énergie lumineuse utile en glucide est excellente : le rendement est de 30 %, ce qui est le rendement d'une bonne centrale électrique. Au niveau d'une culture, il tombe déjà à moins de 1 %. La cause en est dans l'architecture foliaire et dans l'architecture des peuplements végétaux. Mais que dire alors de la cascade des rendements à chaque niveau trophique? L'herbivore n'utilise que 10 % de l'énergie captée par le végétal qu'il broute. Le carnivore qui va manger la vache, va encore diminuer le rendement d'un facteur 10 et au bout d'une chaîne de carnivores il ne reste, aux yeux de nos économistes, pratiquement plus rien (1)!

J'ai dit que devant la croissance démographique, le premier problème qui va se poser aux hommes de demain est de savoir s'ils pourront se nourrir. On a pu estimer à 5 millions la population humaine au néolithique; population qui passait à 100 millions au début de notre ère. Où en sommes-nous donc aujourd'hui? S'il a fallu trois quarts de millénaire pour que soit doublée la population du globe à partir de l'An mille, les choses n'ont cessé de s'accélérer : le milliard d'êtres humains a été atteint en 1850, les trois milliards en 1960, et il nous faut compter sur cinq à sept milliards en l'an 2000. En fait, depuis le début du siècle, la population du globe double tous les 30 ans. Diverses considérations, étudiées entre autres pour le Club de Rome, briseront cette exponentielle et la courbe de croissance tendra à devenir logarithmique, ou même tendra vers une asymptote, stabilisant vraisemblablement la population du globe entre 12 et 20 milliards d'êtres humains. S'ils étaient tous végétariens et n'utilisaient qu'une ration de 2 000 calories par jour, ils consommeraient alors environ 10^{16} kcal par an, ce qui n'est encore que le centième de l'énergie stockée par les végétaux. Mais nous avons vu que le facteur 100 est atteint par deux niveaux trophiques seulement : à titre d'exemple, chaque calorie consommée par l'homme sous forme d'escalope de veau a coûté 60 calories de fourrage mangé par la mère-vache.

Ainsi, au moment où on se préoccupe tant du respect de la Nature, il faut l'aider à

1. Le rapport global de la phytomasse à la zoomasse est difficile à évaluer. Nous ne disposons que d'estimations partielles : pour le végétal, si on exclut les déserts, les steppes et les prairies, on peut compter 40 000 t/km². La zoomasse des ongulés seuls qui justement exploitent les steppes et les prairies représentent 5 t/km², quantité presque négligeable devant les 50 t/km² que représentent les vers de terre en forêt.

nous fournir ce qui sera nécessaire pour notre survie. Cette aide doit porter sur deux plans : l'un concerne l'équilibre de notre atmosphère oxygénée, et c'est la totalité de la végétation qui est en cause; l'autre concerne la fourniture d'aliments primaires, et c'est le rôle de l'Agriculture de faire en sorte qu'elle réponde à nos besoins.

L'atmosphère d'abord. L'augmentation de la consommation par l'homme d'énergie fossile carbonée a fait passer la teneur moyenne en gaz carbonique de 0,30 ‰ en 1920 à 0,34 ‰ cinquante ans plus tard, soit un accroissement de 7 %. La moitié du carbone libéré par les combustions n'est pas recyclée par le végétal, malgré l'accroissement de la photosynthèse en milieu enrichi en « fumure carbonique ». Pour l'instant, les grandeurs mises en œuvre n'altèrent pas sensiblement, à l'échelle planétaire, l'équilibre entre la biomasse et le cycle du carbone; mais il n'en est pas de même à l'échelle de la région : la forêt en production est un lieu d'accumulation temporaire de la biomasse, absorbeur de CO^2 et régénérateur d'oxygène; mais son site ne coïncide évidemment pas avec les espaces urbains, qui sont consommateurs de biomasse et producteurs de CO^2. Les villes manquent d'oxygène, malgré l'immense réservoir de la forêt amazonienne.

Un effet secondaire intervient par suite de la présence de CO^2 dans l'atmosphère. Ce gaz est un calorifuge, en ce sens qu'il empêche le rayonnement terrestre de grande longueur d'onde de se propager vers l'espace. C'est à sa présence — il est vrai massive — dans l'atmosphère de Vénus qu'est due la température de 400° qui règne sur cette planète. Pour l'instant, on n'a pu encore déceler avec certitude sur terre un effet de réchauffement, qui est peut-être compensé par la présence de poussières provenant de nos combustions et qui pourrait de son côté réduire le rayonnement solaire. Il est pourtant bon de noter que l'effet d'un couvercle de CO^2 va dans le même sens que le déstockage de calories emprisonnées depuis les époques géologiques au sein de la Terre — conséquence de notre soif d'énergie — et qui élèvera inexorablement, à moins d'autres effets compensateurs, la température moyenne du Globe.

L'urbaniste et le forestier doivent donc s'engager dans une coopération étroite, pour compenser à chaque instant ce que fait perdre à la photosynthèse l'accroissement des surfaces stériles. Des cultures intensives devraient border les autoroutes, les pistes d'envol, pour compenser le déficit de photosynthèse et l'écart d'albédo. Le biologiste et l'agronome, qui commencent à bien comprendre le mécanisme de cette extraordinaire installation solaire qu'est le végétal, devront, non seulement accroître le rendement de la photosynthèse, mais orienter l'action de la morphogénèse au cours des remaniements des produits primaires de cette photosynthèse, vers l'élaboration d'autres glucides, de protéines et de lipides, indispensables à nos besoins vitaux.

Sur la vingtaine de milliards de tonnes de carbone recyclé par les végétaux terrestres — ce qui représente le double en matière sèche —, près de 70 % concernent les forêts, 25 % les terres cultivées et 6 % les pâturages. Ce sont ces deux derniers postes qui fournissent l'essentiel de l'alimentation de l'homme, et c'est le dernier qui est frappé du plus faible rendement car l'animal est un bien mauvais intermédiaire puisqu'il prélève l'essentiel pour ses propres métabolismes et pour payer les frais de sa mobilité. J'ai parlé du veau. Pour être honnête, rendons au poulet sa propre performance : il restitue à la consommation 15 % de l'énergie qu'il a trouvée dans le grain!

Malgré les conquêtes que l'agriculture pourra faire sur les surfaces actuellement désertiques, marines, ou médiocrement exploitées, il conviendra de créer un jour de véritables centrales de bioconversion, pour produire des aliments et pour produire de l'énergie.

La tare qui pèse sur l'énergie solaire, malgré l'immensité, la démesure de son importance, c'est sa dilution. Pour la capter en puissance il faut d'énormes surfaces et ce sont les

surfaces naturelles qui nous offrent la solution : les étendues marines et les couverts végétaux. La surface des océans stocke, sous forme de chaleur sensible, de l'énergie que Claude a tenté d'utiliser dans des machines thermiques dont on reparle maintenant; elle stocke, sous forme potentielle, de l'énergie dans la masse d'eau évaporée, qui, jointe à celle provenant de l'évapotranspiration des plantes, représente mille milliards de tonnes par jour. Le couvert végétal stocke l'énergie solaire sous forme solide et c'est cette forme que nous utilisons encore avec le charbon (mais nous n'avons pas le temps d'attendre la fossilisation). Il stocke de l'aliment; mais nous avons vu que le rendement est bien faible. Sans attendre que nos chimistes sachent reproduire un jour, sans l'intervention du vivant, les phénomènes de la photosynthèse, nous pouvons rechercher l'utilisation intensive de cet intermédiaire vivant : le végétal. Certaines algues à croissance rapide donnent la double solution : être un réservoir alimentaire et être un producteur de gaz énergétique.

Certaines chlorelles contiennent 50 % de protéines, 35 % de glucides, 5 % de lipides, par rapport à la matière sèche. Si cette composition ne correspond pas aux besoins de l'homme (environ 10 % de protéines, 80 % de glucides, 10 % de lipides), elle constitue un appoint majeur en protides dans les alimentations faiblement carnées. Sans racines et sans chaume, les chlorelles ont un maximum d'utilisation. La production expérimentale est de l'ordre de 75 à 100 g de matière organique sèche par m^2 et par journée d'éclairement. Le rendement théorique atteint le triple. A l'échelle pilote, on a pu compter sur 20 g utilisables par m^2 et par jour, contre 1 g pour le blé ou la betterave, par exemple. Malheureusement, la mise en exploitation industrielle d'une telle production de chlorelles alimentaires exige une technique délicate de confinement et de conditionnement qui n'est, pour l'instant, que marginale économiquement.

La production de combustibles propres et renouvelables, à partir de la photosynthèse, a fait l'objet, dans la conjoncture de crise énergétique actuelle, d'études approfondies dans divers pays, dont les U. S. A. La croissance rapide d'algues dans les mares, moissonnées et mises en fermentation à 30-50 °C conduit à 50 ou 70 % de méthane, le reste étant essentiellement constitué par du CO^2 aisément séparable du gaz combustible. Un mètre cube de méthane peut dériver de 3 kg de matière comptée en sec. La surface de captage pour fournir 1 kW thermique est de 600 m^2 (elle serait du double si le végétal séché était utilisé comme combustible). On comparera cette surface au m^2 qui reçoit 1 kW du soleil zénithal par temps clair. Nous retrouvons bien là l'ordre de grandeur du millième qui caractérise le rendement de la photosynthèse.

Une unité de bioconversion de 100 mégawatts correspond à la surface d'un plan d'eau carré de 9 km de côté; ce n'est pas démentiel, comparé aux retenues des barrages ([1]). Les Américains, dans le rapport 1973 de l' « U. S. Solar Energy panel », estiment qu'avec un effort de recherche et de développement suffisant — mais bien inférieur à celui qui est concédé à la mise au point des diverses filières nucléaires — la bioconversion pourrait fournir en 2020 une part importante de l'énergie nécessaire à ce pays à cette époque : soit 10 % sous forme de combustible solide, 30 % sous forme gazeuse et 10 % sous forme de liquides.

Parmi ces derniers, une place de choix sera faite aux alcools carburants. La France a connu, dans des périodes difficiles, le carburant national utilisable par nos moteurs automobiles, au prix d'une faible adaptation. Les sous-produits de l'industrie sucrière ou vinicole

1. La retenue du barrage d'Assouan a 5 000 km^2 de surface. En moyenne annuelle cette surface recevra 2 500 kWh par m^2 provenant du Soleil. Le barrage, lui, ne fournira que 2 kWh/m^2/an d'énergie électrique. La photosynthèse seule produirait autant d'énergie thermique (à soumettre à la conversion en électricité il est vrai). Mais elle n'utilise que 20 % de l'énergie solaire incidente.

fournissent par hydrolyse des saccharides puis des glucides qui, par fermentation, conduisent à des mélanges d'alcools. Les conditions économiques qui, dès la paix revenue, nous avaient fait nous précipiter sur l'essence, sont actuellement suffisamment modifiées pour qu'une étude des possibilités d'emploi de ces alcools pour les moteurs à explosion soit reprise.

Limitant mon sujet au Soleil en relation avec l'énergie, mais dans une optique agricole, je m'en voudrais de ne pas signaler le rôle que les serres et les séchoirs ont, de tout temps, joué en agriculture; mais c'est là un sujet trop connu pour que j'aie à m'apesantir sur lui. Par contre, je voudrais signaler une orientation nouvelle qui s'est dégagée du Congrès « Le Soleil au service de l'Homme », qui s'est tenu l'été dernier à l'UNESCO. On s'est avisé que la photosynthèse n'utilise qu'une faible partie du spectre solaire : deux bandes centrées sur 0,44 et 0,65 microns; et que le reste — qui représente 80 % — pourrait être utilisé pour d'autres fonctions. On a donc vu fleurir les surfaces ou revêtements sélectifs susceptibles de trier, parmi les différentes parties du spectre, celles qui sont le plus indiquées pour tel ou tel effet. Les piles photovoltaiques, notamment les piles violettes, utilisent la tête du spectre. D'autres effets seront recherchés; mais en définitive, c'est l'effet thermique qui utilisera la plus grande partie de ce reste. On arrive ainsi à l'idée de serres de captage assumant plusieurs fonctions : assurer sous abri la lumière et la température voulues, pour les cultures, en prélevant au passage la chaleur excédentaire pour le dessalement des eaux saumâtres, en vue de l'irrigation de ces cultures, par exemple. Dans une version plus élaborée, la serre composite — véritable enceinte biocœnotique — assure la culture végétale et la pisciculture en eau salée, la distillation de cette eau salée, la culture végétale et la pisciculture en eau douce, et l'humidification générale des cultures. De tels essais ont été réalisés par Boutières, au laboratoire Arago de Banyuls; mais il est trop tôt pour faire le bilan économique de ces installations intégrées. De toutes façons, il ne pourrait s'agir que de réalisations ponctuelles destinées à fournir la nourriture à de très petites communautés implantées en terres arides, alors que nous avons jusqu'ici porté notre attention sur le caractère planétaire de la végétation.

L'équilibre entre la biomasse végétale et animale s'est transformé très progressivement, serrant nécessairement au plus près les possibilités du cycle du carbone, du cycle de l'eau — tous deux trouvant leur moteur dans l'énergie solaire — et les « permissivités » du « struggle for life ». L'Homme, par la puissance de son action sur la Nature, a émergé hors de cet équilibre naturel. Sa consommation massive d'énergie fossile en est la cause la plus évidente. Son appel d'énergie qui n'était en 1860 que du millionième de ce que nous fournit le soleil est voisin aujourd'hui du dix-millième; il sera du trois-millième en l'an 2000. Lorsqu'il atteindra un cinq-centième, l'ordre de grandeur des grands changements cosmiques sera atteint. La prolifération de l'espèce humaine, qui se traduit par cet accroissement d'appel d'énergie, ne trouvera son alimentation — donc sa survie — que grâce aux ressources inventives de l'Homme, mais aussi à sa sagesse.

Constater que la photosynthèse a un rendement moyen de un millième ne peut que stimuler les recherches des biologistes et des agronomes au niveau des organites cellulaires et aucun frein n'est à prévoir à cette étude; mais l'architecture idéale des peuplements végétaux sera l'œuvre du forestier et de l'agriculteur, qui peuvent entrer en conflit avec l'urbaniste et l'industriel. Des « modèles » économétriques seront à développer, basés sur les théories économiques et sur l'observation statistique; et je considère comme particulièrement significative et encourageante la présence ici, à côté des agriculteurs, d'économistes et de statiticiens.

Je voudrais, pour terminer, ajouter deux informations.

Je n'ai garde d'oublier que les agriculteurs sont, par extension, des biologistes; or, deux réponses ont été apportées tout récemment à deux questions portant sur l'origine de la vie sur la Terre et l'une d'elles est directement liée au rôle de la végétation, ce qui ne peut nous laisser indifférents!

Si c'est un lieu commun de répéter que le soleil est source de toute vie, ce serait déjà ouvrir un nouveau débat que de parler de l'origine de cette vie. Toute métaphysique mise à part, nous sommes confrontés à un cercle vicieux : le rayonnement solaire de courte longueur d'onde est nécessaire pour rendre compte de la synthèse des molécules prébiologiques, mais ces radiations sont abiotiques et détruisent donc l'échafaudage qui conduirait aux cellules vivantes. La vie a pu se développer sur terre grâce à la protection offerte par la couche d'ozone qui coupe le rayonnement ultra-violet des la gamme 0,2-0,3 mm, et cet ozone provient de l'oxygène lui-même libéré par la photosynthèse réalisée par le végétal. Comment donc le végétal, forme première de toute vie sur terre, a-t-il pu apparaître alors que le bouclier d'ozone n'était pas encore en place?

Bien des hypothèses ont été avancées pour lever ce paradoxe. L'une des plus récentes repose sur les propriétés diffusantes des milieux turbides. A l'échelle de la molécule, la diffusion de la lumière est isotrope et l'effet chromatique en $1/\lambda^4$ est responsable de la couleur bleue du ciel. Les grosses particules diffusent la lumière avec un maximum dans la même direction que la lumière incidente; mais pour des fines particules de l'ordre de 500 Å, il y a rétro-diffusion et la loi s'exprime par une puissance élevée de la longueur d'onde. Si donc nous examinons ce qui a pu se passer dans la « soupe originelle », avant la naissance des végétaux — donc avant la formation d'ozone corrélative de la création d'une atmosphère oxygénée — les molécules prébiologiques ont pu prendre naissance dans le milieu turbide des lagunes ou marais, et, entraînées en profondeur par les mouvements de la masse liquide, échapper à l'action directe de l'U. V. qui les a formées, lequel est rejeté par l'effet de rétrodiffusion.

Eh bien! Cette hypothèse, comme bien d'autres, n'est plus nécessaire, depuis les révélations des vols d'Apollo. Lors de l'expédition d'Apollo XVI, les astronautes ont pu photographier dans l'ultra-violet, derrière un filtre FLi, une aura ou halo d'hydrogène entourant la Terre, sur des distances de plusieurs diamètres terrestres; cet hydrogène provient de la photolyse de la vapeur d'eau évaporée de la surface des océans, et dont la molécule est brisée par l'U. V. solaire à haute altitude. L'oxygène, plus lourd, est retenu par la gravitation de la planète. On pense maintenant que ce processus engendre la majeure partie de l'oxygène terrestre. Il a donc pu y avoir, dès l'origine, une couverture de protection d'ozone permettant à la vie de se développer, les molécules prébiologiques étant, comme on le sait maintenant, présentes dans l'Espace.

Un deuxième point constituait une pierre d'achoppement pour les paléobiologistes : toutes les synthèses chimiques obtenues sans intervention d'un organisme vivant conduisent à la production simultanée d'antipodes optiques, les molécules douées de pouvoir rotatoire étant engendrées avec une égale probabilité sous la forme dextrogyre et sous la forme lévogyre. Or, tous les phénomènes vitaux favorisent l'une des formes seulement, la forme opposée étant souvent exclusive de la vie.

Puisque la vie est nécessaire pour « orienter » une synthèse vers une forme moléculaire « viable », comment les choses ont-elles pu commencer? Les physiciens ont recherché dans un phénomène purement physique un élément de dissymétrie qui ait pu favoriser l'une des formes des énanthiomères au détrimant de l'autre. La lumière du soleil, à la condition qu'elle comprenne une part appréciable de polarisation circulaire, aurait pu jouer ce rôle (l'effet de

spin dû à la rotation de la Terre également); mais on ne pouvait expliquer une telle polarisation que par des hypothèses astronomiques contestables.

Horeau, professeur au collègue de France, a fourni tout récemment une explication qui pourrait être satisfaisante. Supposons la formation d'une molécule simple comportant un carbone asymétrique : la probabilité de la synthèse est la même pour que la molécule soit douée d'un pouvoir rotatoire droit ou gauche. Mais qu'est-ce à dire une probabilité égale? Statistiquement ce sera le cas; mais de part et d'autre de cet équilibre idéal, il peut y avoir des excursions faisant dominer légèrement, localement et temporairement, une des deux espèces. Si la constitution chimique de cette molécule se prête à une polymérisation (et c'est le cas de toutes les molécules « vivantes »), le premier stade, la dimérisation, va conduire à deux formes *qui ne sont plus* des antipodes optiques et qui sont donc séparables. Une suite de polymérisations-dépolymérisations, dues au balancement de température ou de concentration, par exemple, amplifie très rapidement la différence, de sorte que l'orientation initiale donnée conduit à un choix définitif d'une seule forme optiquement active. Si sur terre il y a prédominance d'une forme, il peut y avoir dans d'autres conditions, sur une autre planète par exemple, prédominance de la forme inverse qui serait mortelle pour celle sur laquelle la vie s'est développée sur la Terre.

J'ai tenu à vous parler de ces deux hypothèses, à cause de leur nouveauté, et quoiqu'elles constituent une excursion hors des franges de mon exposé, car elles vous montreront combien est lent le cheminement qui nous conduit à la compréhension du phénomène vivant et profond le gouffre qui sépare encore les molécules prébiologiques de la plus primitive des cellules sur lesquelles vous travaillez.

Ivan PEYCHÈS

de l'Institut

Note : H. Boutière a fait une excellente étude sur l'utilisation possible de la nappe phréatique profonde d'une zone désertique : non par le Sahel qui a actuellement la triste vedette, mais le Sahara qui recèle sous ses 600 000 km² une nappe d'eau de 20 000 millards de tonnes. Cette nappe est alimentée par les pluies de l'Atlas sahariens dont les eaux ne parviennent dans les grès du Continental intercalaire que 30 000 ans après. C'est donc un gisement d'eau fossile faiblement renouvelable. Pour une exploitation agricole normale, qui exige une irrigation annuelle de 500 mm d'eau par m²/an, la nappe serait épuisée en 35 ans, comme un gisement de pétrole. L'agriculture devrait être itinérante, « suivre l'eau ».

DISCUSSION

M. ZEDET. — 1. Le gaz de fumier peut avoir une application semi-industrielle par exemple, le Mont-des-Cats.

2. Il existe actuellement une centrale électrique (à l'essai) utilisant le bois comme matière première, les déchets forestiers.

Il serait désirable qu'on s'y intéresse.

3. Le problème de l'eau et de son cycle amène à penser que la vie sur Terre est liée à l'existence d'un corps anormal qui est l'eau.

M. Peychès. — Nous prenons acte de vos informations sur l'état actuel des réalisations en matière d'énergie issue des végétaux et des déchets, et je répondrai à votre troisième point. Ce n'est pas l'eau qui est anormale, mais les conditions assez exceptionnelles qui font que la Terre est, dans le système solaire, la seule planète-eau. Il a fallu que la masse de la Terre retienne une atmosphère (ce qui n'est pas le cas de la Lune), que celle-ci se soit formée par dégazage sur une planète assez éloignée du soleil pour que la vapeur d'eau puisse se condenser (ce qui n'est pas le cas de Vénus), mais pas trop pour que la vapeur ne passe pas directement à l'état de glace (cas de Mars). C'est dans un créneau très étroit que la vie a pu se loger. Les statisticiens apprécieront les chances pour que ce créneau existe dans d'autres systèmes planitaires.

M. Gibrat. — Qu'est devenue votre idée de détruire une partie de la couche d'ozone pour permettre au rayonnement solaire d'arriver sur terre sans absorption ou presque?

M. Peychès. — Le rayonnement de courte longueur d'onde (0,2-0,3 mm) normalement absorbé par l'ozone atmosphérique produit dans la très haute atmosphère la photolyse de la vapeur d'eau, de sorte que la Terre laisse s'échapper son hydrogène, comme a pu le constater Apollo XVI. Il serait très intéressant d'obtenir cette photolyse au sol et de capter l'hydrogène libéré. Pour cela il faudrait faire « un trou » dans la couche d'ozone. On a cru que les oxydes de l'azote libérés par les vols stratosphériques pourraient agir sur l'équilibre $3O_2$-$2O_3$. J'avais imaginé effectivement que la production locale d'oxydes d'azote pour former une colonne au-dessus de la centrale de captage, même en quantité minime, permettrait l'arrivée au sol de l'ultra-violet normalement coupé. La réalisation relève de la science-fiction. D'autant plus que les vols entrepris dans le cadre de la COVOS ont montré que les oxydes de l'azote libérés par les avions stratosphériques étaient beaucoup moins efficaces sur la teneur en ozone qu'on pouvait le supposer.

M. F. Robin. — Puisque la forêt représente 70 % de la puissance de fixation de l'énergie solaire par le Monde végétal, il serait intéressant de savoir si la différence entre la forêt feuillue et la forêt résineuse est suffisante pour entrer en ligne de compte dans les projets de reboisement.

La même question peut se poser pour le choix des cultures. Certaines d'entre elles, comme le maïs, semblent de nature à mettre en œuvre de grandes quantités d'énergie.

M. Peychès. — Feuillus et résineux se partagent à peu près également les surfaces forestières (respectivement $5{,}4 \cdot 10^6$ km² et $6 \cdot 10^6$ km²). Ils élaborent en un an une masse de matière organique de l'ordre de $300 \cdot 10^6$ m³ de bois chacun, avec un léger excès en faveur des résineux. Mais il est plus difficile de comparer les capteurs proprement dits et les échangeurs, c'est-à-dire les feuilles. Je ne possède pas de chiffres pour les résineux. Pour les feuillus ligneux on cite les chiffres de biomasse à l'hectare de forêt dense, respectivement de 3 tonnes pour les feuilles, contre 180 t pour le tronc, 76 t pour les branches et 54 t pour la partie souterraine. Un agronome pourrait plus directement répondre au fond de votre question.

M. G. Drouineau. — Je voudrais évoquer un problème que M. Peychès connaît bien, celui de l'augmentation du rendement de la photosynthèse dans les espaces cultivés. Grâce aux progrès de la recherche agronomique dans les pays développés, ce rendement a notablement augmenté. Ainsi les maïs actuels donnent un rendement 10 fois supérieur aux peuplements traditionnels.

Les progrès de la génétique offrent encore de grandes possibilités, mais d'autres facteurs limitants de la production agricole et de la fixation de CO_2 peuvent apparaître. Nous devons penser à l'eau et aux éléments minéraux nécessaires à la nutrition des plantes.

M. Peychès. — Les progrès réalisés par les agronomes sont substantiels, mais ils reposent sur la sélection, l'hybridation, et non sur une maîtrise plus grande du processus physicochimique de l'assimilation chlorophylienne. En somme la Nature s'est chargée de faire des écarts et l'intelligence de l'homme a su observer les écarts favorables et les fixer. Mais l'homme n'a pas su encore *inventer* un autre processus que celui offert par la Nature, pour aboutir au même résultat, comme le fait le chimiste de l'inerte.

M. Pheline. — Je souhaiterais compléter les informations qui vous ont été données par M. le professeur Peychès et par l'intervenant précédent en vous indiquant que les Pouvoirs publics et en l'espèce les services du ministère de l'Industrie en relation avec d'autres départements ministériels examinent sérieusement les possibilités suivantes de diversification des sources d'énergie intéressant le secteur agricole :

1° Substitution partielle aux carburants classiques des produits de distillation de plantes alcooligènes;

2° Utilisation des réactions de fermentation de déchets cellulosiques pour la production de gaz combustible et divers sous-produits utilisables;

3° Applications diverses de la photosynthèse.

Sur le premier point, un contrat de développement doit incessamment être conclu par le ministère de l'Industrie et de la Recherche avec des sociétés privées en vue d'optimiser la technologie de la fabrication et d'étudier les débouchés possibles de l'alcool d'origine agricole dans le secteur des transports et comme matière première de synthèses industrielles.

La production de gaz et autres sous-produits (pâte à papier, aliments pour le bétail) à partir de déchets végétaux est également à l'étude. On pense que là aussi la technologie peut faire de grands progrès et des réalisations pilotes sont projetées. Mais l'économie de ces procédés dépendra surtout des marchés qui s'ouvriront, de l'accueil que leur feront les propriétaires et responsables d'exploitations agricoles. A cet égard, l'appui des associations représentées ici pourrait être important.

Enfin, à propos de la photosynthèse, je puis vous signaler qu'ayant assisté récemment à un séminaire organisé avec le docteur Taylor, bien connu dans les milieux de l'énergétique mondiale, j'ai appris qu'aux États-Unis on envisage pour le long terme des programmes tendant à développer la culture en serres, sur de très grands espaces, de plantes tropicales (bambou, manioc, canne à sucre). Les serres en structure gonflable seraient fabriquées en série de manière économique et les rendements à la production très élevés puisqu'on parle de 65 à 120 tonnes d'équivalent charbon à l'hectare alors que le rendement habituel est de 2,5 à 4 t. e. c. pour la betterave. Le procédé consiste à tirer le maximum des ressources énergétiques potentielles en brûlant dans des centrales de combustion les parties sèches et en recyclant dans les serres le gaz carbonique et l'eau issus de la combustion, ce qui permet de disposer des grandes quantités nécessaires à la poursuite des réactions de photosynthèse. J'ajoute qu'une des personnalités présentes à ce séminaire participant à des instances européennes de recherche et développement a suggéré d'étudier les possibilités que pourrait offrir un programme similaire conçu à l'échelle de la communauté.