

**LE XXI<sup>e</sup> SIECLE,  
LE SIECLE DE LA BIOLOGIE**

*Jean FOURMENTIN-GUILBERT*

L'évolution humaine se repère par l'âge de ses techniques successives. Après l'âge de la pierre, du bronze, du fer, l'homme a domestiqué l'eau, le vent, la vapeur, l'électricité, l'atome.

Mais le futur s'annonce plus tumultueux et le titre choisi pour cette communication « Le XXI<sup>e</sup> siècle, le siècle de la biologie », me paraît trop audacieux. Autant mon ancêtre pithécantrophe aurait pu à ma place vous parler du millénaire de la pierre polie puisque le passage de la pierre brute à la pierre finement taillée a demandé près de cinq cent mille ans, autant aujourd'hui il est difficile de faire des prédictions techniques dépassant le quart de siècle. Par ailleurs, s'il est certain que la biologie jouera un rôle de premier plan, d'autres techniques connaîtront un large développement.

Vous me pardonnerez donc cet effet d'annonce car, pourquoi vous le cacher, mon objectif est avant tout de vous faire partager un peu de ma passion pour la biologie.

Pour vous mettre en condition, je commencerai par un bref aperçu de nos connaissances actuelles dans ce domaine.

Tous les organismes vivants, sauf les virus, sont constitués de cellules. Depuis une cellule pour les microbes jusqu'à quelques dizaines de milliers de milliards ! L'homme possède environ 60 000 milliards de cellules !

De dimensions et de formes variables: un volume de quelques dizaines de micron cube pour les bactéries, de quelques centaines de micron cube pour les cellules animales. Dans 1 mm<sup>3</sup>, ce n'est pas grand, vous pourriez loger plusieurs centaines de millions de bactéries ou quelques millions de cellules animales.

Dans chacun de ces volumes minuscules, vous trouverez une fantastique usine en activité. Des dizaines de milliers de machines-outils différentes, des organites divers, un noyau, qui exécutent des milliards de transformations chimiques.

Le noyau comprend notamment un programme complet assurant :

- au stade embryonnaire, le contrôle-de la fabrication complète de l'organisme pluricellulaire;
- le maintien en fonctionnement de la cellule confrontée aux variations des conditions extérieures ;
- la fabrication d'une autre cellule identique lorsque le besoin s'en fait sentir.

Cela signifie que chacune de nos 60 000 milliards de cellules est potentiellement capable de nous reconstituer à l'identique.

Ce programme complet se nomme le génome et il se répartit sur un ou plusieurs chromosomes.

Vous le savez, les chromosomes sont constitués d'ADN, longue chaîne formée d'une succession de 4 types de molécules appelées bases. Un code universel pour tout le monde vivant fait correspondre à la succession des bases une succession de pièces détachées appelées acides aminés (21 types d'acides aminés). Cette chaîne (plusieurs centaines d'acides aminés) forme en se repliant une protéine nommée également macromolécule ou enzyme et que j'appelle familièrement « machine-outil ».

Ce sont les protéines qui réalisent les opérations très précises de lecture, traduction, assemblage des acides aminés, l'ADN n'étant que le support physique du programme au même titre qu'une bande magnétique dans un ordinateur.

Avec 4 bases, 21 acides aminés, 1 code universel, la nature construit une infinité de protéines, de même que l'homme, avec 26 lettres, rédige une infinité de messages.

Le génome (l'ensemble du programme) se décompose en divers segments appelés gènes. Chaque gène correspond à une protéine et commence par une zone bloquant sa lecture.

Pour chaque type de cellule, une partie des gènes reçoit, dès sa formation, un verrouillage permanent et figé. C'est justement ce verrouillage qui crée la différenciation entre types de cellules. (Pour le corps humain: 200 types de cellules environ.)

Pour le restant des gènes utilisables par la cellule, la zone de blocage peut s'ouvrir avec une clef, le plus souvent constituée par une protéine ou une molécule. Ainsi, l'expression du gène se trouve régulée en fonction des besoins de la cellule.

Ces parties de programme, les gènes, sont échangées en permanence et par les voies les plus diverses entre bactéries, entre bactéries et virus, entre bactéries, virus et plantes. Ces échanges créant des caractéristiques nouvelles susceptibles de répondre aux variations de l'environnement.

Pour les espèces plus évoluées, la sexualité réalise ce brassage de gènes entre individus de même espèce pour assurer également une grande variabilité dans les performances.

Les virus, qui ne possèdent pas de machinerie interne, doivent injecter leur génome dans une cellule et réussir à le faire traduire en protéines. Pour cela, ils ont sélectionné les bonnes clefs ouvrant la zone de lecture. Cette propriété des virus est utilisée par l'homme pour implanter un nouveau gène dans une cellule et le faire traduire en protéine. C'est pourquoi vous entendrez parler de virus comme vecteurs des opérations de transgène.

En résumé, il vous suffira de retenir simplement deux points importants :

1 / L'extraordinaire unité du monde vivant: le code, les 21 acides aminés, les 4 bases, les organites, structures et mécanismes des cellules, se retrouvent identiques dans tous les systèmes vivants. C'est cette unité qui permet à l'homme d'utiliser une bactérie pour produire une protéine humaine ou pour réaliser le transfert d'un gène d'une bactérie sur une plante.

2 / La nature n'est pas inventive. Elle se contente de réaliser depuis des milliards d'années des combinaisons nouvelles d'éléments existants (molécules, macromolécules, gènes, organes, cellules, organismes ... ), pour construire par tâtonnement des structures de plus en plus complexes qui, après sélection, serviront à leur tour de composants pour des combinaisons nouvelles.

J'espère que les spécialistes me pardonneront ces simplifications.

\*

\* \*

Quels sont les éléments qui ont permis en une vingtaine d'années le prodigieux essor des biotechnologies ?

Le point important se situe en 1953 lorsque Watson et Crick, deux biophysiciens américains, ont résolu la structure de l'ADN et déchiffré le code génétique. Ensuite les biologistes, en élucidant vers 1960 le fonctionnement des protéines, ont assuré le démarrage de cette nouvelle science : la biologie moléculaire.

Les biologistes du monde entier se sont lancés avec entrain dans cette collecte de données moléculaires. Mais leurs outils n'étaient pas adaptés à l'ampleur de la tâche.

Mon appel de 1970 n'ayant pas été entendu comme vous l'a exposé le président Gattaz, il faudra attendre le programme américain « *Human Genome* » en 1989 pour que s'amorce une initiative internationale visant à mettre au point de nouveaux outils pour la lecture des gènes (projet vivement critiqué par les biologistes français).

En 1970, on ne savait pas lire les gènes. En 1980, quelques laboratoires réussissaient à lire 4 000 bases par an environ. Ce qui représentait encore mille ans de travail avec 1000 laboratoires pour lire un seul génome humain!

Aujourd'hui une seule machine lit plusieurs millions de bases par an.

Dans cette course au progrès, il faut tout à la fois signaler la désaffection des laboratoires publics français et le rôle exemplaire du laboratoire privé Généthon.

Financé par les fonds recueillis par le Téléthon, il a réussi en 1996 (en un peu plus d'un an) à cartographier l'ensemble des 100 000 gènes du génome humain.

Ces brillants résultats montraient l'intérêt d'une approche instrumentale pour la collecte des données et donnaient à la France une certaine crédibilité dans ce domaine.

Les Américains ont salué cette prouesse en en tirant les leçons, car ils ne pensaient pas y parvenir avant 2001.

L'autre progrès significatif de ces dix dernières années concerne la mise au point vers 1990 de la PCR, procédé et machine automatique pour multiplier un premier message génétique en millions de copies.

Viennent ensuite des machines capables de synthétiser des courts messages d'une centaine de bases. Il suffit de taper la liste des lettres souhaitées sur un clavier. Ces messages sont notamment utilisés dans les « biochips ».

Derniers venus dans cette panoplie instrumentale, les « biochips » représentent un bon exemple de la symbiose entre la biologie et l'informatique.

Sur des plaquettes de silicium de quelques millimètres carrés, on réussit à déposer et à indexer plusieurs centaines de milliers de petits messages différents. Ils correspondent soit à toutes les combinaisons d'un message de 8 bases (270 000 combinaisons), soit à toute une série de marqueurs de maladies génétiques.

Il suffira de plonger ce « biochip » dans une solution de gènes identiques (gènes de plusieurs milliers de bases) pour détecter un détail particulier correspondant justement à un des petits messages placés sur la sonde.

Signalons également les instruments nouveaux, automates ou capteurs, développés grâce aux nanotechnologies. Avec ces nouveaux outils, on peut observer, manipuler, positionner, mesurer les forces de liaisons, des atomes ou des molécules (1 à 2/10000<sup>e</sup> de microns !).

Avec la nanogravure, on réalise des micro-moteurs électriques de quelques microns de diamètre, des micro-appareils d'analyse, des micro-transporteurs de molécules.

Parallèlement à cet effort d'instrumentation initié par « *Human Genome* », une meilleure connaissance des mécanismes a permis la mise au point de techniques biologiques diverses telles que:

- l'introduction de gènes particuliers dans des génomes viraux ou bactériens pour la fabrication de protéines ;
- la réalisation de transgènèse, c'est-à-dire le transfert d'un gène d'un organisme sur un génome d'une espèce différente ;
- diverses expérimentations sont en cours pour transférer des gènes sur des animaux et sur l'homme. Elles représentent le début d'un ensemble de techniques dites de thérapie génique;
- le clonage réussi de la brebis Dolly a pu démontrer la possibilité d'utiliser des cellules différenciées (cellules de mamelle), ce qui le distingue des autres clonages obtenus en partant de cellules embryonnaires donc indifférenciées.

Quelles sont les perspectives réalistes pour le début du XXI<sup>e</sup> siècle ?

A l'aube de ce XXI<sup>e</sup> siècle, l'homme sait lire, fabriquer, extraire les génomes. Il sait aussi les transférer sur les bactéries, les plantes et les animaux. Il étudie le transfert sur les cellules humaines.

Mais il s'agit le plus souvent de résultats de laboratoires et en dehors de quelques cas, l'utilisation en routine de ces nouvelles techniques n'est pas concrétisée.

Par exemple, l'analyse clinique des génomes ne pourra voir le jour sans d'énormes progrès en coût et en vitesse. L'analyse d'un seul génome du virus du SIDA coûte environ 30 000 F et demande plusieurs jours de travail.

Par ailleurs, un caractère dépend rarement d'un seul gène. Le plus souvent, il est le résultat d'une interaction entre les protéines codées par plusieurs gènes. Ces interactions sont complexes et difficiles à contrôler.

Compte tenu des investissements à mettre en œuvre, les développements significatifs ne pourront correspondre, pendant le premier quart de siècle, qu'à des besoins réels représentant des marchés importants.

Voyons-en quelques-uns.

Le premier besoin pour l'humanité concerne l'amélioration des ressources alimentaires. Contrairement à ce que l'on pense, nous ne sommes pas en situation de surproduction agricole, bien au contraire. La simple projection dynamique des 6 milliards d'habitants exigera dans les vingt prochaines années une augmentation de près de 15 % de la production agricole, et ce sur une surface qui aura tendance à diminuer.

Les plantes transgéniques accentueront leur poussée. Après avoir porté les efforts sur la résistance aux insectes, aux herbicides, à l'obtention de meilleurs rendements, on sera amené à s'intéresser aux goûts des consommateurs : conservation, qualités organoleptiques, aspect esthétique, etc.

On peut espérer voir les céréales assimiler l'azote de l'air, directement ou en symbiose avec une bactérie, grâce à la transgénèse. Ce qui éviterait les engrais azotés.

Pour les animaux transgéniques, le schéma est sensiblement le même. Après l'amélioration du rendement en viande, en lait, on satisfera les goûts des consommateurs. Par ailleurs, ces animaux produiront des médicaments, ils serviront de donneurs d'organes pour greffes sur l'homme sans risque de rejets. Un exemple des possibilités de ces animaux transgéniques est donné par l'idée d'un laboratoire plein d'humour qui envisage d'étudier le croisement du kangourou avec le vison. L'objectif étant d'obtenir directement des manteaux de fourrure avec poches !

Pour être plus sérieux, la pisciculture devrait profiter également de transferts de gènes favorisant la croissance. On envisage sur le bar et la truite de réaliser une transgénèse de gènes « antigél » pour créer de nouvelles aires de pêche dans les régions nordiques.

La pharmacie.

A égalité avec les besoins alimentaires, l'amélioration de la santé dans le monde reste une priorité et la pharmacie bénéficiera largement des progrès des biotechnologies.

Aux États-Unis, en 1997, les compagnies pharmaceutiques ont signé 240 contrats avec les start-up de la biotechnologie d'une valeur de 5 milliards de dollars. Ce chiffre est en expansion continue.

Les efforts se répartissent en deux directions

- tout d'abord, programmer les micro-organismes pour la production industrielle d'hormones, de protéines, d'anticorps. Les utiliser également pour le tri de protéines répondant à une fonction particulière;

- ensuite, développer ce que l'on appelle le « protéine engineering », ensemble de techniques de modélisation sur ordinateur pour définir la structure répondant à une fonction.

La médecine.

Parallèlement à cette explosion de la pharmacie, les biotechnologies révolutionneront les pratiques médicales.

Tout d'abord, grâce au dépistage des maladies génétiques ou des prédispositions à certaines pathologies. Cela par sondes génétiques de types « biochips ».

Ensuite, si elle devient opérationnelle, la thérapie génique apportera en complément du dépistage, le traitement des pathologies les plus diverses (cancer, maladies cardiovasculaires, rhumatismes, diabète, etc.).

Cette thérapie génique correspond à de nombreuses techniques et stratégies.

- Dans le cas du transfert d'un gène thérapeutique dans les cellules à modifier, le gène peut bloquer la réplication des cellules tumorales, il peut stimuler la réponse immunitaire contre ces cellules, il peut coder pour une protéine thérapeutique, enfin il peut stimuler la croissance d'un tissu particulier ou servir de vaccin. Dans l'utilisation de cette technique, le cancer représente actuellement la maladie prioritaire et correspond à plus de 70 % des essais en cours dans les laboratoires.

- Tout récemment, on a réussi à cultiver des cellules embryonnaires en les maintenant dans un état indifférencié. Ce résultat signifie que l'on est capable d'empêcher le verrouillage des gènes et de conserver ainsi la pleine potentialité de la cellule à régénérer des tissus et des organes. Inutile de souligner les révolutions thérapeutiques que l'on peut en attendre.

Pour les grands blessés, des prothèses miniaturisées et implantées agissant sur les circuits neuroniques ou les suppléant, sont en cours d'expérimentation. Des systèmes hybrides, où les potentiels d'actions recueillis dans le cerveau sont amplifiés et traités par des circuits intégrés agissant sur des neurones moteurs, sont déjà opérationnels.

La dépollution de l'environnement dans les pays industrialisés constituera le troisième domaine d'application des biotechnologies.

On exploitera les propriétés étonnantes de certaines bactéries pour extraire et rendre inoffensifs des polluants dangereux ou des déchets toxiques. *Escherichia coli* est capable de consommer des déchets de toute nature et de les transformer en alcool.

Dans certains pays chauds, on développera des photobioréacteurs captant le rayonnement solaire pour en extraire via des micro-organismes de l'énergie.

On réalisera des peintures et des revêtements autonettoyants garnis en surface de bactéries assimilant les poussières organiques et autres. Des micro-organismes spécialisés pour tel ou tel contaminant serviront à purifier l'eau.

Les applications strictement industrielles resteront peu nombreuses.

Des essais ont été tentés de bioextraction de minerais à faible teneur tels que l'or, le cuivre ou le cobalt. Ces micro-organismes peuvent également opérer la biofiltration des minerais.

On parle de choux capables de concentrer l'or jusqu'à 1 g par kilo), d'arbres capables de détoxifier le mercure présent dans le sol.

Des micro-organismes modifiés produiront des matières plastiques biodégradables. (Monsanto prévoit la mise sur le marché vers 2005 d'une plante sécrétant du plastique.) En transférant le gène de sécrétion de la soie chez les araignées, des microorganismes exsuderont cette fibre.

Des micro-organismes, dérivés des bactéries vivant dans des conditions extrêmes de température, de pH, etc., seront modifiés pour apporter une aide logistique aux explorations spatiales: fourniture d'eau, d'aliments, d'oxygène, peut-être d'énergie. Ces développements se feront en étroite synergie avec les progrès dans les composants de l'informatique et des télécommunications.

Par contre, la réalisation d'ordinateurs à base de molécules biologiques ne me paraît pas envisageable avant une cinquantaine d'années.

Face à cette véritable révolution technologique qui s'amorce, quelle est la position de la France ?

Si, en 1997, les biologies représentaient aux États-Unis 1 500 entreprises, 120 000 salariés, un chiffre d'affaires de 15 milliards de dollars (les deux tiers concernant les médicaments), il n'y avait en France qu'une vingtaine de sociétés, et, en dehors de Genset et de Transgène, la plupart n'employait que quelques personnes.

Les grands de la pharmacie, Rhône-Poulenc, Roussel-Uclaf, Sanofi, réalisent des alliances afin de s'attaquer à ces nouveaux marchés.

La création toute récente de Biovalley regroupant l'Alsace et le Bade-Wurtemberg, du Génomole d'Evry avec Genset et le Généthon, n'empêche pas un constat très pessimiste.

Nous pouvons espérer maintenir notre place dans ce que l'on appelle la génomique fonctionnelle, compte tenu de notre longue tradition en biochimie (il s'agit d'analyser les liens entre le gène et sa fonction), mais il n'y a aucun espoir de reconquérir une position dans l'analyse génomique. Or, cette analyse verrouille le dépistage et l'utilisation des gènes.

Essayons au moins de tirer les leçons de cette situation pénalisante pour notre économie.

Si l'industrie pharmaceutique française est en difficulté, l'industrie de l'instrumentation scientifique moribonde, les startup en biotechnologie pratiquement absentes, cette situation résulte du manque de politique industrielle des ministères consommateurs : celui de la santé et de la recherche.

La création récente du centre de séquençage en est un bon exemple. Ce centre, entreprise de services, offrait une occasion exceptionnelle de poursuivre l'effort du Généthon en créant une ou deux sociétés privées financées par du capital risque et ayant pour premier débouché commercial les opérations de séquençage réalisées à grands frais par les laboratoires publics.

A la place de cette démarche industrielle, on confie la gestion de cette structure au CNRS avec un budget annuel de l'ordre de 100 millions de francs !

Les conditions du progrès.

Pour réussir le passage du laboratoire à l'application à grande échelle, il est nécessaire de former rapidement un personnel d'interface alliant les compétences de l'ingénieur à celles d'une réelle formation en biologie.

Dans les biotechnologies, nous manquons en effet de ce que j'appelle « l'ingénieur-biologiste » par analogie avec l'ingénieur-électronicien ou mécanicien.

La réussite des thérapies géniques passe, elle aussi, par une approche plus opérationnelle. Une réflexion s'impose pour bâtir un cahier des charges des moyens à mettre en œuvre pour lever les principaux points clefs.

Faute de quoi, la dispersion des efforts avec des outils mal adaptés retardera de plusieurs décennies la mise au point de techniques reproductibles, sûres et précises.

Ne l'oublions pas, c'est l'émergence d'une instrumentation nouvelle qui a permis les progrès rapides dans la connaissance du vivant, il en sera de même pour la thérapie génique.

Abordons pour terminer les risques de ces biotechnologies nouvelles.

L'homme, en modifiant ainsi le génome de toutes les créatures vivantes y compris le sien, ne risque-t-il pas de déclencher des catastrophes écologiques, de dévoyer et d'aliéner les comportements humains en réalisant les prédictions du « Meilleur des Mondes » d'Aldous Huxley?

Beaucoup s'inquiètent de ces pouvoirs nouveaux, et de réelles questions d'éthique, de morale, de sécurité se posent.

Des réponses pertinentes ne pourront être apportées qu'en acceptant d'analyser séparément les multiples situations au fur et à mesure qu'elles se présenteront.

Dans ce cadre, on peut immédiatement distinguer les modifications concernant les plantes et les animaux de celles concernant l'homme (ceci, alors même que l'on utilise des techniques très voisines).

Pour les plantes et les animaux, l'homme, par ses techniques d'agriculture et d'élevage, a créé, de longue date, des espèces nouvelles qu'il doit protéger en permanence pour assurer leur survie. Laissez un champ de blé ou un troupeau de vaches dans la nature, ils disparaîtront en quelques générations.

De ce fait, les nouvelles techniques de modifications génomiques se situent dans la continuité des procédés anciens de sélection et de croisement avec cependant une différence importante. Au hasard et à l'improvisation, on a substitué des méthodologies rigoureuses d'essais en laboratoires, d'essais en champs, de mises sur le marché. Des organismes de contrôle, des procédures d'autorisation, limitent maintenant les risques de dissémination et les dangers pour notre santé.

Pour l'homme, par contre, les perspectives de modification du génome, de clonage, de régénération d'organes, de réalisation d'hybrides, créent des situations nouvelles dont on imagine mal les répercussions sur les comportements de l'humanité.

Nous manquons totalement de recul et les obligations morales, le sens du devoir, fruits d'une lente évolution de notre inconscient collectif n'ont jamais eu à prendre en compte le devenir de notre génome !

Aussi, tenant compte de ces multiples et inquiétantes difficultés, je vous propose d'amorcer simplement quelques directions pour les futurs débats. Débats dans lesquels l'Académie des Sciences morales et politiques me paraît devoir être un interlocuteur privilégié.

- Commençons par bien distinguer le « danger » et le « risque ».
- Le danger se présente partout et à tous les moments de notre existence.  
Le risque correspond à la probabilité de voir ce danger se manifester.

Deux exemples simples:

Dès que vous sortez du ventre de votre mère, vous êtes en danger. Mais si vous restez à l'intérieur, vous êtes aussi en danger.

Vous restez à l'intérieur de votre maison, vous êtes en danger ; vous sortez, vous êtes également en danger.

Curieusement nous acceptons un danger dont on connaît le risque même si celui-ci est de 100 % comme l'est la mort pour la vie. (« La vie est une maladie mortelle », comme l'a dit un humoriste.) Mais nous sommes effrayés par un danger dont nous ne connaissons pas le risque, aussi minime soit-il (peur de l'inconnu).

- N'oublions pas l'histoire de la vie sur Terre.

La nature, par ses modifications permanentes des génomes, crée par tâtonnement les systèmes vivants les plus variés, adaptés par sélection aux transformations létales de l'environnement.

C'est ainsi que les premiers organismes ont pollué l'atmosphère en libérant l'oxygène de l'eau. De nouvelles structures, brûlant ce qui constituait un poison pour les bactéries anaérobies et en retirant 15 fois plus d'énergie qu'avec la fermentation sans oxygène, avancèrent ainsi d'un pas de plus dans l'aventure du vivant.

En trois milliards d'années, on ne dénombre pas moins de 5 extinctions successives de 70 à 80 % des structures vivantes. La dernière, il y a 65 millions d'années, a permis le succès des petits lémuriens, mammifères ancêtres de l'homme.

A l'exception des bactéries dont la rusticité et la prolifération ont permis une survie de plusieurs milliards d'années, l'immortalité d'une espèce particulière reste problématique.

- Prenons conscience du chemin parcouru par l'homme.

L'homme se caractérise par rapport aux autres espèces par un besoin de rechercher inlassablement des outils pour agir sur son environnement, un besoin de toujours chercher à mieux faire. (Sans doute une conséquence de son « intelligence » : aptitude à tirer le meilleur parti des éléments dont on dispose.)

Grâce à ces progrès, l'homme moderne s'est construit une niche qui lui assure un environnement quasi constant, le met à l'abri de multiples agressions, lui assure nourriture, gîte, loisir, etc.

La sélection naturelle à la naissance, les épidémies, les combats contre les prédateurs les plus divers y compris l'homme, éliminaient les plus faibles et n'autorisaient qu'exceptionnellement la mort par vieillesse !

Ces conditions exceptionnelles, que l'on pourrait appeler « contre-nature », se payent par une accumulation de tares génétiques, un accroissement et un vieillissement de la population, une perte des réactions de défense devant les agresseurs et le danger. (L'homme moderne ne veut plus courir le moindre risque!)

Pour certains, d'ailleurs, ces progrès le conduisent à sa perte. En arrêtant le progrès, nous éviterions les dangers et les risques qu'il comporte.

Mais est-ce un hasard si, au moment où l'homme doit faire face aux multiples problèmes, conséquences du progrès, il se donne les moyens potentiels grâce aux biotechnologies et aux nanotechnologies de leur trouver des solutions efficaces et de poursuivre sa marche en avant ?

- Reconnaissons avec humilité que nous ignorons à peu près tout des principes moteurs de l'évolution.

Dans notre conception scientifique (que l'on peut ne pas accepter), notre univers constitué d'atomes simples d'hydrogène évolue vers des atomes plus complexes et des molécules. Sur la terre, ces molécules s'assemblent en macromolécules puis en organites, en cellules uniques, enfin en organismes pluricellulaires qui par une complexité toujours croissante ont abouti à l'homme.

L'homme, création de la nature au même titre que toutes les autres espèces vivantes, ne peut que suivre et subir l'évolution des systèmes vivants.

Evolution qu'il constate sans en comprendre les fins et les moyens.

On peut imaginer que cette évolution découle de ce que nous appelons en physique un « champ ». Ce « champ » hypothétique, de nature inconnue, lui imposerait une direction qui paraît être une progression hasardeuse et tâtonnante vers une « complexité croissante ».

Pour vous aider dans cette image, considérez le champ de la pesanteur. Il agit sur tous les éléments terrestres pour les diriger, à la surface de la Terre, vers les points les plus bas.

Un Martien ignorant ce champ (et son concept même) observe la pluie tomber, se rassembler en rigoles et parvenir finalement par les voies les plus tortueuses à des lieux de rassemblement. Il ne comprend pas que, en construisant un barrage pour empêcher l'eau de s'écouler, celle-ci se détourne pour finalement rejoindre les autres cours. Il ne sait pas, et pour cause, qu'un barrage n'a jamais modifié le champ de la pesanteur et que l'eau finit toujours par retourner à la mer !

Vis-à-vis de l'évolution, nous sommes dans la situation de ce Martien. Gardons-nous des « décisions barrages » qui risquent d'accumuler des tensions pouvant être désastreuses.

L'évolution vers des « complexités croissantes » se réalise dans un équilibre dynamique des multiples systèmes vivants en présence. Chacun s'opposant et fourbissant alternativement les armes d'attaques et les parades de défense pour maintenir un équilibre précaire.

A l'action s'oppose la réaction, mais le système étant en évolution, peut-on l'arrêter sans lui faire perdre son équilibre ? (Pensons à l'équilibre dynamique du vélo qui roule!)

Peut-on, avec l'évolution, prendre le risque de mettre un pied à terre ?

- Réfléchissons de plus sur l'accélération de notre évolution technologique qui peut à juste titre donner le vertige.

Le développement des télécommunications et de l'informatique s'apparente à la prolifération des communications moléculaires réalisées au moment du passage de l'unicellulaire au pluricellulaires et toutes les conditions semblent réunies pour la transformation de nos sociétés tribales en superstructures analogues à des organismes où les hommes correspondraient aux cellules.

Beaucoup d'erreurs et de tâtonnements sont encore nécessaires mais qui peut nier la réalité de cette évolution ? Qui peut croire qu'elle résulte de la volonté humaine ? Ne sommes-nous pas condamnés au progrès ?



Cela étant, il est tout à fait normal qu'une partie de la population s'oppose au progrès. Une telle réaction ne fait que valider le schéma de l'équilibre dynamique décrit précédemment et aide finalement au progrès général.

Sans les mouvements écologiques, il est vraisemblable que l'assurance qualité initiée pour la construction et l'exploitation des centrales nucléaires ne guiderait pas aujourd'hui l'ensemble des démarches industrielles, que les procédures d'autorisation et les organismes de contrôle pour tout ce qui concerne les biotechnologies, les OGM, les thérapies géniques, n'auraient pas la maturité actuelle.

Mais les campagnes déclenchées à seule fin d'affoler les citoyens risquent d'aller à l'encontre des buts recherchés.

Il faut tout au contraire que les associations d'écologistes et de défense des consommateurs, pour assurer leur crédibilité, participent, avec les industriels et les administrations concernées, à un vaste effort d'informations pertinentes, accessibles et largement diffusées auprès du public sur les mécanismes du vivant.

Car c'est à la société tout entière d'examiner les enjeux, les risques, les décisions à prendre et non à quelques petits groupes guidés par leur seule idéologie.

La fondation Fourmentin-Guilbert, dont l'objectif général est d'aider au rayonnement de la biologie, cherche à amorcer cette diffusion d'informations objectives. Elle voudrait aider à produire une série d'émissions télévisées mettant à contribution tous les moyens modernes d'illustration pour captiver le public tout en le distrayant. Ces émissions accompagneraient des tribunes ouvertes à toutes les composantes de la collectivité pour créer les vraies conditions d'un dialogue permanent sur la connaissance du vivant.

Avec cette connaissance largement répandue, nous verrions progressivement le « politiquement correct » remplacé par le « biologiquement correct ».

### **Orientations bibliographiques :**

#### **Éthique :**

*Convention on Human Rights and Biomedicine*, Council of Europe, *European Treaties* n° 164, avril 1997.

*Protocole additionnel à la convention pour la protection des droits de l'homme et de la dignité de l'être humain à l'égard de la biologie et de la médecine portant interdiction du clonage d'être humain*, Conseil de l'Europe, *Traités européens* n° 168, 12 janvier 1998. Publications du Conseil national d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé, Centre de documentation et d'informations d'éthique.

*Les Cahiers du Comité consultatif national d'éthique*, Bioméditation.

*Le principe de précaution dans la conduite des affaires humaines*, divers auteurs, Paris, INRA, Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme.

#### **OGM/Transgène:**

*La société face aux plantes transgéniques*, divers auteurs, synthèse réalisée par la Société Hors Ligne.

*Les OGM arrivent*, Éd. Fourmentin-Guilbert, 1999.

« Comment ça va Dolly ? », Olivier Postel-Vinay et Annette Millet, *La Recherche*, no 297, 1997.

« Les photobioréacteurs », Cahier no 101, *Biofutur*, no 176, 1998.

#### **Instrumentation :**

- *STM - AFM - SNOM* » : nouveaux outils pour la génétique et les biotechnologies, Éd. Fourmentin-Guilbert, 1997.

- « Le microscope à effet tunnel: un nouvel outil pour la biologie moléculaire », *Biocontact*, no 2, Éd. Fourmentin-Guilbert, 1991.

David Stipp, *Gene chip breakthrough*, Affymetrix and Incyte Inc, 1996.

- « La connaissance du vivant, futur moteur du progrès », *Biocontact*, no 3, Éd. Fourmentin-Guilbert, 1992.

- France, ton instrumentation scientifique se meurt », *Biocontact*, no 8, Éd. Fourmentin-Guilbert, 1994.

Thérapie génique / Biomédical :

- « Et si le Père Noël s'intéressait au génome ? », *Biocontact*, no 4, Éd. Fourmentin-Guilbert, 1992.

- « Ingénierie des protéines », *Biocontact*, no 5, Éd. Fourmentin-Guilbert, 1992.

- « Thérapie génique », *Biofutur*, no 162, 1996.

- « Les essais cliniques en thérapie génique », *Biofutur*, no 163, 1997.

- « Nouvelles perspectives des biotechnologies en médecine », exposé de M. Mark Cantley, Symposium Eurocancer 98, Paris, OCDE.

- « Progrès récents dans le traitement des lymphomes malins par immunothérapie », exposé de Philippe, Eurocancer 98, Paris, OCDE.