

*L*e 20^{ème} siècle a été riche en découvertes scientifiques. Que nous reste-t-il à découvrir d'aussi exceptionnel que le principe de la vaccination ou nos planètes voisines ? Cette question révèle peut-être la pauvreté de notre imagination ou une marque d'orgueil. L'expérience des siècles passés suggère que l'avenir scientifique et technique nous apportera des réponses aux questions que nous ne sommes pas encore en mesure de poser. De grandes découvertes semblent encore possibles, en particulier si les disciplines (biologie, physique, informatique...) s'allient pour travailler ensemble. L'avenir des sciences et techniques semble, en effet, résider dans l'interdisciplinarité. De nombreux scientifiques pensent que les principales découvertes ont été faites : la phase de découverte de la nature est achevée. Nous entrons à présent dans une nouvelle phase : celle de la maîtrise de la nature. L'homme peut influencer sur la vie, la matière et l'intelligence. Cette tendance ne manque pas d'engendrer des conflits opposant la société civile et les scientifiques, parfois qualifiés « d'apprentis sorciers ». Des dissensions existent au sein même de la communauté scientifique. Il s'agit de mettre en balance les bienfaits et les risques potentiels de toute découverte sur l'individu, la société, l'environnement, les générations futures... L'enjeu est important car les progrès scientifiques et techniques posent des questions éthiques inédites. Cette réflexion ne peut être que collective et place le principe de précaution au cœur du débat.

La révolution du vivant : de la compréhension au modelage de la vie

Le génome désigne l'ensemble de l'information héréditaire d'un organisme

Cette information est présente en totalité dans chacune des cellules de l'organisme.

Le génome contient toutes les instructions nécessaires au développement, au fonctionnement et à la reproduction des cellules et de l'organisme. Ces instructions sont nommées gènes. Le support matériel de l'information génétique est l'ADN (Acide DésoxyriboNucléique).

Celui-ci est constitué par l'enchaînement de « maillons » nommés nucléotides. Les nucléotides ont une partie variable - une base, du point de vue chimique - qui peut exister sous 4 formes ; ces formes sont symbolisées par les lettres A, T, G et C. Les instructions sont donc écrites dans un alphabet à 4 lettres. Pour se représenter la succession des bases le long d'une molécule d'ADN, on peut imaginer un collier réalisé avec des perles de 4 couleurs différentes. C'est l'ordre dans lequel se succèdent les bases - leur séquence - qui constitue la forme de stockage de l'information biologique.

De la première bactérie transgénique à la culture de cellules souches humaines

1973 Des scientifiques américains introduisent des gènes dans une bactérie, obtenant ainsi le 1^{er} organisme transgénique

1980 1^{ère} implantation, chez une souris, d'un gène provenant d'une autre souris, ce qui crée le 1^{er} mammifère transgénique.

1983 Création de la 1^{ère} plante transgénique.

1988 Création d'une souris transgénique qui produit de l'insuline humaine et obtention du 1^{er} brevet accordé pour un vertébré fabriqué par génie génétique.

1991 1^{ère} utilisation réussie d'une thérapie génétique dans le traitement d'une maladie héréditaire

1994 Des chercheurs américains réussissent à cloner des cellules d'embryons humains et les laissent se multiplier pendant quelques jours.

1994 Commercialisation des 1^{ères} tomates transgéniques.

1997 Création de Dolly, 1^{er} animal cloné à partir d'une cellule animale adulte.

1999 1^{ères} cultures de cellules souches à partir de cellules d'embryons humains. Ces cellules qui sont à l'origine de tous les types de cellules du corps humain, pourraient éventuellement servir à créer des tissus et organes de remplacement.

Le séquençage des génomes, autrement dit la description génétique de tout ce qui vit, révolutionne la pratique de la biologie et de la médecine. De nouvelles techniques permettent non seulement d'explorer l'identité génétique des vivants, mais aussi de la modifier. L'ingénierie du vivant nous rendra-t-elle « maîtres et possesseurs » d'une nature que nous pourrions modeler à notre gré ?

Le Graal génétique : des promesses, mais de nouveaux risques

Le séquençage de génomes entiers a été rendu possible grâce à l'introduction des ordinateurs et des robots pour automatiser les processus de séquençage. Initié en 1989 par un consortium public financé par 18 pays et regroupant des centres de séquençage dans 6 d'entre eux (dont le Génoscope à Evry), le séquençage du génome humain est à présent terminé. Cette séquence représente près de 3 milliards de nucléotides, soit, en caractères, le contenu de 2 000 livres de 500 pages. Le séquençage du génome humain permet en premier lieu de procéder à l'identification des gènes de l'homme : on dénombre à ce jour près de 25 000 gènes.

L'ingénierie du vivant permet de modeler le génome et les systèmes biologiques

Si la biologie et la génétique permettent d'approfondir la connaissance des mécanismes du vivant, les biotechnologies utilisent ces mécanismes et reposent sur une démarche d'invention. Concrètement, les biotechnologies utilisent des tissus, des cellules pour produire de nouvelles substances utiles. Elles sont au carrefour de 3 domaines : santé, agro-alimentaire, environnement. Elles ont deux grandes applications :

- la production de molécules dans des organismes génétiquement modifiés (OGM) telles que l'insuline, des hormones de croissance, le vaccin contre l'hépatite B... En 2004, 190 médicaments et vaccins issus des biotechno-

logies étaient déjà disponibles et plus de 400 produits thérapeutiques étaient en phase de développement. D'après France Biotech, association française des entreprises de biotechnologie, la grande majorité des molécules actuellement en développement clinique concernent le cancer (cancer du col de l'utérus...) puis les maladies infectieuses (paludisme...), les pathologies auto-immunes et le VIH.

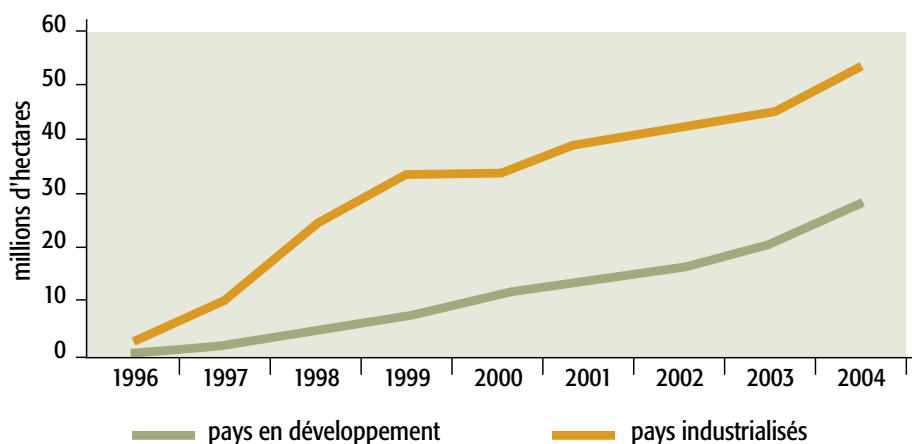
- l'analyse et le diagnostic des pathologies et des contaminations. Les biotechnologies ont permis de développer des tests très sensibles utilisés pour la détection de maladies génétiques, l'identification des agents infectieux...

Le développement des cultures d'OGM divise les scientifiques comme la société civile

L'une des méthodes de la biotechnologie consiste à introduire un fragment d'ADN dans un organisme afin d'en modifier le programme génétique, d'où le terme d'« organisme génétiquement modifié ». Aujourd'hui, les cultures d'OGM représentent plus de 5% des surfaces cultivées dans le monde. En 2004, la surface totale des cultures d'OGM a augmenté de 20%. On constate au contraire un recul en France : actuellement, moins de 100 hectares d'OGM sont cultivés. Ce chiffre s'élevait à 1 500 ha en 1998.

Dans le domaine des plantes génétiquement modifiées, de nombreuses études de recherche et développement

Evolution des surfaces de cultures OGM dans le monde de 1996 à 2004



La surface de cultures transgéniques dans les pays en développement est en augmentation constante. En 2004, 14 pays cultivaient plus de 50 millions d'hectares de plantes transgéniques (10 pays en 2003) répartis en 9 pays industrialisés et 5 pays en développement. Pour la première fois en 2004, la surface de cultures transgéniques a augmenté plus fortement dans les pays industrialisés que dans les pays en développement.

Source : ISAAA, 2004 (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications)

sont en cours et présentées sur le site www.ogm.gouv.fr. L'agronomie et la santé/nutrition constituent les deux grands axes de recherche.

En matière d'agronomie, l'utilisation de plantes transgéniques capables de « s'autoprotéger » enrichit la palette des solutions disponibles pour lutter durablement contre les insectes, les bactéries, les virus et contre la compétition avec d'autres plantes (mauvaises herbes). En France, la première autorisation de culture transgénique date de 1997 pour toute utilisation (importation, culture et transformation industrielle) : il s'agit d'un maïs tolérant à la pyrale (une chenille) et à un herbicide.

Des plantes plus adaptées à la sécheresse font l'objet de recherches. Compte tenu de la limite des ressources en eau, cet axe est un enjeu capital pour la production agricole des prochaines décennies.

En matière de santé, la réduction de l'allergénicité des plantes par modification génétique est une piste également explorée et qui paraît prometteuse. Rappelons que les allergies alimentaires touchent 15 à 30% de la population. Des modifications génétiques peuvent aussi être envisagées afin de modifier les propriétés organoleptiques des aliments (conservation, texture, goût).

Les futurs bénéfices des OGM semblent plus facilement identifiés et quantifiables que les risques. D'après l'Agence Française de Sécurité

Sanitaire des Aliments, dans le cas des OGM autorisés à la consommation, aucun problème de santé (toxicité ou allergénicité), n'a pu être spécifiquement attribué à un OGM. Cela n'exclut pas qu'il puisse exister un risque, mais aujourd'hui celui-ci ne peut-être ni précisément identifié, ni a fortiori quantifié. Face à ce risque, les experts n'ont pas la même perception du degré de précaution à mettre en œuvre, ce qui explique les fréquentes divergences d'opinion. En outre, les enjeux pour l'économie et l'environnement sont importants. L'empreinte écologique d'une telle technique est difficile à évaluer à long terme. Les arguments pour recommander la plus grande prudence ne manquent pas : par exemple, les effets de la dissémination des gènes de résistance aux herbicides (ou la fabrication de « supers mauvaises herbes ») sont encore inconnus, et en ce qui concerne les risques de transfert de gènes entre espèces, l'ignorance règne... Ces questions sont autant de sujets de recherche à explorer dans l'avenir pour statuer avec certitude sur le sujet.

Soigner le corps humain : des greffes d'aujourd'hui au clonage de demain ?

La loi relative à la bioéthique de 2004

Elle recouvre à la fois l'affirmation des principes généraux de protection de la personne humaine qui ont été introduits notamment dans le code civil, les règles d'organisation de secteurs d'activités médicales en plein développement tels que ceux de l'assistance médicale à la procréation ou des greffes, ainsi que des dispositions relevant du domaine de la santé publique.

Les principales innovations de la loi par rapport aux dispositions de 1994 concernent :

- la création d'une nouvelle incrimination de « crime contre l'espèce humaine » pour réprimer tout clonage reproductif (duplication d'un être humain à l'identique)
- l'interdiction du clonage thérapeutique (utilisation du clonage de cellules dans un but thérapeutique)
- l'autorisation à titre dérogatoire pendant cinq ans de recherches sur l'embryon lorsqu'elles sont « susceptibles de permettre des progrès thérapeutiques ».

Datant d'une cinquantaine d'années, les premières greffes d'organes ont ouvert des perspectives immenses : soigner le corps humain, pièce par pièce, devenait possible ! Les progrès de la chirurgie et des traitements immuno-suppresseurs ont depuis amélioré les pourcentages de succès de ces greffes. Cependant, des problèmes demeurent : en France, en 2004, plus de 11 000 personnes ont eu besoin d'une greffe et 3 945 seulement ont pu être greffées. Face au manque de greffons, la thérapie cellulaire peut dans certains cas être une alternative.

Des thérapies cellulaires à la place des greffes

La thérapie cellulaire est aujourd'hui largement utilisée dans le domaine de l'hématologie (greffe de cellules capables de se différencier en globules rouges, globules blancs ou plaquettes), des brûlures (greffes de peau)... Cette technique repose sur le transfert de cellules provenant d'un donneur. Il s'agit le plus souvent de cellules d'origine foetale. Les questions de compatibilité immunologique et de la faible disponibilité de cellules se posent donc toujours.

Mais depuis 1998, la culture des cellules souches humaines, des cellules capables de se transformer en cellules du cœur, du muscle, etc., est techniquement possible. La limite de la disponibilité des cellules pourrait ainsi être levée. Quant à la question de l'incompatibilité immunologique, elle pourrait être réglée si les cellules souches étaient dérivées d'embryons clonés. Or, les obstacles techniques et les questions éthiques qui persistent au sujet de la création par clonage d'embryons humains sont réels. Il est certain que les recherches menées au nom du clonage thérapeutique (la création d'embryon humain et la maîtrise de la différenciation de cellules souches isolées d'un embryon) profiteront à quiconque voudrait faire naître des bébés clonés... La question éthique est donc cruciale.

A long terme et sur un plan strictement scientifique, la culture de ces cellules souches ouvre des perspectives de réparation tissulaire très larges. Ce n'est plus une utopie de penser que l'on pourra un jour ensemercer des cellules saines dans notre cœur, nos os, nos glandes, pour réparer des lésions que la médecine ne pouvait jusqu'alors traiter, hormis par des greffes d'organes.

Les thérapies géniques pourraient guérir les cancers

Les essais de thérapie génique, qui consistent à introduire un fragment d'ADN directement dans un organisme, suscitent de grands espoirs. Mais si les premiers essais réussis ont montré les potentialités extraordinaires de cette technique, l'euphorie immédiate a fait place à un espoir raisonné. Aujourd'hui, on estime qu'il faudra entre 20 et 50 ans pour maîtriser cet outil thérapeutique. Au-delà des maladies génétiques, les thérapies géniques s'adressent notamment au traitement des cancers. 70% des essais cliniques concernant des thérapies géniques se rapportent à des cancers. Environ 300 sont menés actuellement dans le monde. De nombreuses étapes restent à franchir. En 1996, une équipe française a obtenu, par une thérapie génique expérimentale, la réduction d'une tumeur du cerveau. L'étude clinique est actuellement en phase 3 : il s'agit de confirmer ces résultats positifs sur des centaines de patients.

Mais la thérapie génique, comme d'autres techniques innovantes, nécessite un suivi des risques : dissémination du vecteur du gène, maintien de la non-virulence... A plus long terme, d'autres risques existent peut-être.

De nouvelles biologies orientées vers le diagnostic et la thérapeutique

Le séquençage du génome humain devait déboucher directement sur des applications concrètes. Or, nous savons aujourd'hui qu'il ne constitue qu'une première étape, en particulier pour comprendre comment les protéines sont produites. En effet, un nombre limité de gènes peut générer plusieurs protéines et une même protéine a différentes fonctions selon son environnement. Depuis le début du 3^{ème} millénaire, de nouvelles approches biologiques tentent de comprendre ces mécanismes.

La biologie systémique offre la possibilité de mimer le fonctionnement d'une cellule

La biologie systémique émerge de la convergence de plusieurs secteurs : bioinformatique, étude du génome et du protéome humain, imagerie moléculaire... Ces techniques permettent une véritable dissection du vivant pour en comprendre les modes d'action, mais avaient conduit à un éparpillement de la vision que les biologistes avaient des organismes vivants. Grâce à l'informatique, il devient possible de simuler des systèmes complexes tel que le comportement physiologique d'une cellule. La biologie systémique permet de créer un modèle explicatif de la diversité et de l'interdépendance des données. Elle va permettre de prédire les propriétés de nouvelles molécules et, éventuellement, de médicaments capables d'agir sur ce comportement global.

La biologie de synthèse permet de programmer les êtres vivants

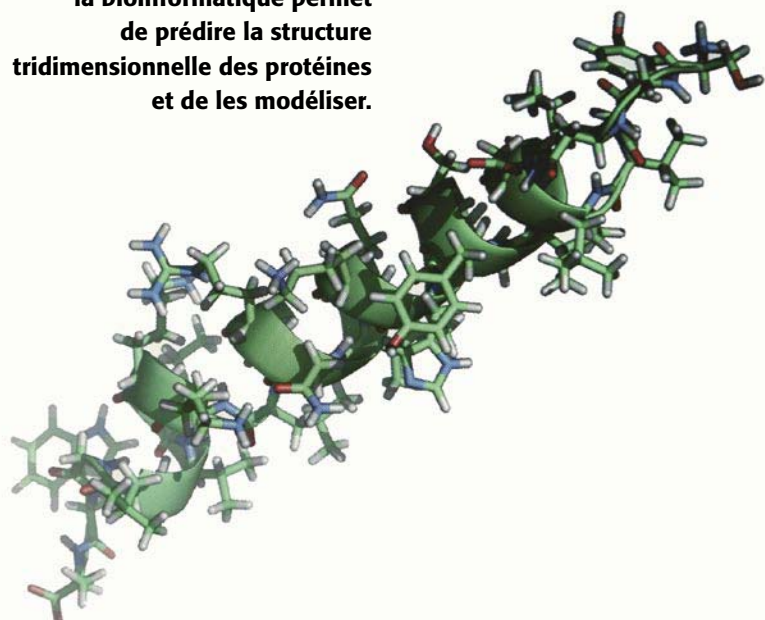
La biologie de synthèse est complémentaire de la biologie systémique. Ses objectifs sont la conception *de novo* de systèmes biologiques, tels qu'enzymes, biomatériaux, voies métaboliques... Pour y parvenir, il est nécessaire de décrire les fonctions biologiques, les systèmes de régulation, de reconnaissance moléculaire et de tester les fonctionnements de chaque élément dans des « e-cells » (c'est à dire des cellules virtuelles, sur

lesquelles on peut faire des expériences) et *in vitro*. Il ne s'agit rien de moins que de la reprogrammation complète d'organismes vivants (et pas seulement l'introduction d'un gène, objectif du génie génétique) afin de leur faire exécuter les fonctions souhaitées, même si elles n'existent pas dans la nature.

Quelles sont les applications actuelles de la biologie de synthèse ? Créer des molécules n'existant pas dans la nature, reconstituer des cellules à l'aide d'enzymes de synthèse, inventer de nouveaux biomatériaux... les possibilités sont nombreuses. A partir du moment où l'on peut introduire de l'ADN dans un programme génétique totalement contrôlé, pour créer de nouvelles fonctions biologiques, les applications sont illimitées. La plus grande vigilance s'impose !

A plus long terme, on peut imaginer des applications dans la thérapie des cancers (lorsque ceux-ci impliquent des mutations génétiques). Ces nouvelles approches pourraient également servir dans la lutte contre les micro-organismes impliqués dans les maladies infectieuses (localisation des failles dans leur composition et création d'agents conçus pour attaquer ces points faibles).

En analysant les séquences, la bioinformatique permet de prédire la structure tridimensionnelle des protéines et de les modéliser.



La révolution informatique : beaucoup plus qu'une innovation technologique

Depuis la découverte du transistor en 1948, la progression de l'informatique semble sans limite. Elle n'est pas sans conséquences sur le monde professionnel, le lien social ou l'accès au savoir. Quelles seront nos vies quand des systèmes intelligents se trouveront disséminés dans les moindres recoins de notre environnement ?

Des ordinateurs de plus en plus puissants et présents

La généralisation des transistors a entraîné une explosion des performances des ordinateurs dès le début des années 60. Ce taux de croissance stupéfiant est quantifié par la loi de Moore selon laquelle le nombre de transistors sur une puce de silicium, c'est à dire la puissance des ordinateurs, double tous les 18 mois. Cette loi est vérifiée depuis plusieurs décennies.

Ces avancées ont permis d'offrir au plus grand nombre une technologie à moindre coût et de généraliser l'utilisation d'ordinateurs de tous types. Ceux que nous appelons ordinateurs sont les ordinateurs « visibles ». Il s'agit des ordinateurs personnels ou des stations de travail, portables ou fixes, des ordinateurs serveurs qui fournissent de l'information sur un réseau, des ordinateurs de contrôle de processus chargés de piloter des processus industriels (raffinerie, usine automatisée, navires...), des super-ordinateurs chargés de résoudre de gros problèmes numériques (prévisions météorologiques, simulations...). La demande en puissance de calcul des ordinateurs « visibles » semble sans limite. Cette puissance nous permet d'imaginer sans cesse de nouvelles fonctions : la correction orthographique et grammaticale, la reconnaissance vocale... Ces ordinateurs « visibles » ne représentent que 3% des microprocesseurs.

La majorité des microprocesseurs sont des ordinateurs « cachés ». Ils se présentent comme des composants électroniques évolués dont nous ignorons généralement l'existence : surveillance et pilotage de véhicules (voitures, trains, avions...), dispositifs

de communication et de localisation (terminaux GSM, répondeurs, GPS), électroménager (machine à laver, chaîne hi-fi, magnétoscope)... Les ordinateurs « cachés » apportent de l'intelligence aux objets qui nous entourent et permettent l'apparition de nouveaux objets inconcevables sans leur présence (GSM, GPS...). Ils transforment aussi la nature de beaucoup de métiers en capturant les connaissances et le savoir-faire qui leur sont associés.

De l'informatique aux technologies de l'information et de la communication (TIC)

Pour représenter l'information, les techniques numériques s'imposent de plus en plus : les signaux analogiques fournis par les capteurs (dont caméras et microphones) sont convertis en signaux numériques puis stockés, traités ou transmis sous cette forme. Les avantages sont nombreux. En unifiant les traitements du texte, de la voix, des sons et des images, la numérisation crée un effet d'entraînement, tout en conduisant à de nouvelles applications. Cette convergence de technologies affecte les pratiques professionnelles comme la communication entre les personnes... il est probable que notre société en sera profondément transformée.

L'e-business se développe

On appelle e-business l'intégration au sein de l'entreprise d'outils basés sur les TIC pour en améliorer le fonctionnement. L'accès des entreprises aux nouvelles technologies, à Internet en particulier, tend à modifier la communication entre les différents acteurs du monde des affaires, et notamment les relations

L'e-business regroupe un éventail très large d'activités

Parmi les solutions e-business en développement, on peut citer l'intranet / extranet, le « Groupware » (applications diverses permettant à des utilisateurs géographiquement éloignés de travailler en équipe telles que les outils de messagerie, l'agenda partagé, les forums électroniques, les conférences électroniques...), l'e-commerce (commerce électronique : utilisation d'un média électronique pour la réalisation de transactions commerciales), l'informatique décisionnelle (ou « Business Intelligence », c'est-à-dire l'exploitation des données de l'entreprise dans le but de faciliter la prise de décision par les décideurs)...

entre l'entreprise et ses clients, le fonctionnement interne de l'entreprise c'est-à-dire la relation entreprise-employés, la relation de l'entreprise avec ses différents partenaires et fournisseurs. L'e-business ne s'applique plus aux seules entreprises virtuelles fondant l'essentiel de leur activité sur le net, mais également aux entreprises traditionnelles.

Mais si l'e-business se développe, le taux d'adoption d'activités d'e-business plus évoluées (prise de commandes en ligne, intégration avec les fournisseurs) reste encore assez faible. Beaucoup d'entreprises utilisent encore l'Internet principalement pour rechercher et fournir des informations ou effectuer des opérations bancaires. Certes, l'utilisation varie en fonction du secteur d'activité, de la taille de l'entreprise (les grandes entreprises étant les plus à la pointe) et de nombreuses applications e-business ne sont pas adaptées à tous les processus ou secteurs. De nouvelles tendances se dessinent cependant : augmentation du commerce électronique, internationalisation croissante et adoption d'applications e-business plus complexes par les petites entreprises (notamment des systèmes de commandes et de logisti-

que). Enfin, l'externalisation internationale, c'est à dire l'achat à l'étranger de services liés aux TIC, est un phénomène récent qui se poursuit.

Les TIC sont à même de transformer le secteur de la santé

Le secteur de la santé utilise de plus en plus les TIC, pour certaines tâches administratives, comme pour certaines spécialisations médicales de pointe. Les essais d'applications révèlent un potentiel considérable : cartes à puce, imagerie, monitoring et consultation à distance, surveillance des menaces d'épidémies, recherche, formation à la santé...

Ces nombreuses possibilités semblent à même de transformer le secteur de la santé. Les avantages sont la maîtrise des coûts, la réalisation de l'objectif de l'accès universel aux soins de santé, mais aussi la formation continue des professionnels de santé... Plusieurs freins existent cependant : la structure des institutions, les mécanismes d'assurance et de paiement, le manque de suivi et d'évaluations régulières et rigoureuses des avantages et des coûts des applications...

L'implantation de puces sous-cutanées renfermant des données médicales personnelles est autorisée aux Etats-Unis

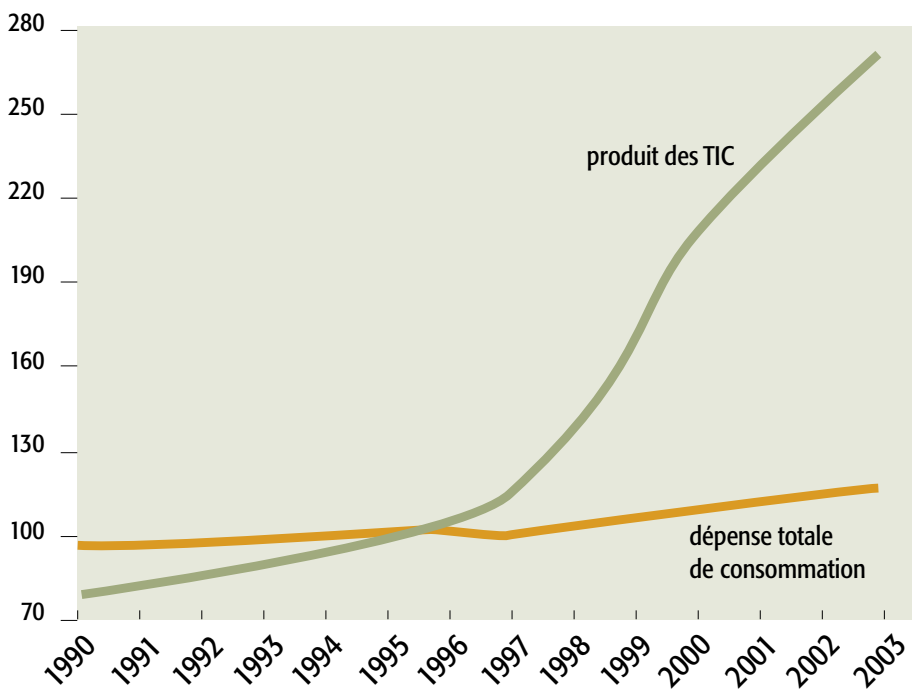
Depuis octobre 2004, l'agence de sécurité sanitaire américaine (Food and Drug Administration) autorise l'usage de puces dans le corps humain à des fins médicales. De la taille d'un grain de riz, les puces à signal radio sont injectées sous la peau des patients. Les données ne sont pas contenues dans la puce proprement dite, mais dans une base de données distante. Pour récupérer les informations, le personnel médical utilise un scanner lisant un code de 16 chiffres lui permettant de faire le lien entre le porteur et la base de données sécurisée sur Internet. Le fabricant californien de ces puces cible les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer, de diabète, de troubles cardio-vasculaires... Mais en cas d'accident, il est imaginable qu'un secouriste disposant d'un tel scanner puisse identifier un blessé inconscient et connaître instantanément son dossier médical (groupe sanguin, allergies, antécédents...).

En France, la vigilance reste de mise.

La Commission Nationale Informatique et Libertés estime qu'en acceptant de porter cette puce, l'être humain perd la liberté de communiquer, ou de ne pas communiquer son identité, son état de santé... ce qui, à ce jour, n'est pas acceptable.

Consommation des produits des TIC

indice de volume base 100 en 1995



Source : Insee, tableaux de l'économie française 2004-2005

Trois formes d'inégalité sont à l'origine du fossé numérique

Le fossé numérique désigne le plus souvent l'inégalité d'accès aux technologies numériques mais on peut distinguer 3 types d'inégalités : l'inégalité d'accès à un ordinateur, à Internet..., l'inégalité dans l'usage d'outils parfois complexes et l'inégalité dans l'usage des informations issues de ces outils. Lutter contre le fossé numérique ne peut se limiter à développer l'accès à l'Internet : apprendre à utiliser sereinement ces outils, favoriser un regard critique face à la masse d'informations... sont autant de défis à relever pour réduire le fossé numérique.

Malgré un fossé numérique persistant, les TIC pourraient être un vecteur plus important de sociabilité et de communication

Les ordinateurs personnels et l'Internet fournissent le matériel et la connectivité permettant à la population de profiter des avantages des TIC. La diffusion des ordinateurs personnels a été lente, mais celle de l'Internet, prenant appui sur le parc d'ordinateurs installés, a été relativement rapide. En 2004, 31% des ménages avaient accès à Internet, soit 5 fois plus qu'en 1999.

Actuellement, le courrier électronique demeure l'activité principale. Mais l'utilisation de l'Internet se diversifie : les fonctions de recherche ciblée, d'information ou de services bancaires sont de plus en plus exploitées, la navigation à la recherche de biens et services prend de l'importance pour la préparation d'achats... Le temps passé en ligne augmente et commence à empiéter sur le temps consacré à d'autres médias, même si la télévision conserve de loin la première place. Les TIC font désormais partie du quotidien des ménages malgré un fossé numérique persistant, quoiqu'en résorption. Aujourd'hui, ce fossé numérique est désormais moins lié à l'accès qu'à l'utilisation : l'Internet accentue les clivages sociaux à mesure que de nouveaux usages font leur apparition.

Il est vraisemblable que les TIC annoncent une mutation dans les modes de communication et le lien social. Les TIC en général, et l'Internet en particulier, pourraient contribuer à modifier les rapports entre les êtres. Deux thèses s'opposent sur cette question.

- Comme à chaque fois que l'humanité découvre un nouvel outil, l'idée de « reconstruire le monde » avec l'aide de cet outil est formulée. L'explosion des TIC dans notre quotidien a fait renaître le fantasme de relier chaque individu dans le monde, de réunir à nouveau les hommes. C'est la promesse d'un « village planétaire ». Mais est-ce qu'un rapprochement virtuel est en mesure de révolutionner le lien social ? Au contraire, les « liens électroniques » ne seraient-ils pas artificiels et aux antipodes de rapports humains authentiques ?

- La thèse opposée a également ses partisans : les TIC favoriseraient l'invention d'un nouveau lien social basé sur les échanges de connaissances et d'expériences. L'échange de savoirs, et ceci quelle que soit la position sociale, le niveau scolaire ou culturel, le parcours professionnel, servirait de médiation entre les êtres. Ainsi, loin de nous isoler, les nouveaux outils de communication renforceraient au contraire les liens sociaux en leur offrant de nouvelles ressources et opportunités de développement.

La généralisation d'Internet bouleverse notre rapport au savoir

Internet est un réseau de réseaux d'ordinateurs, conçu à l'origine par et pour la communauté des informaticiens, pour permettre l'échange (ou le partage) de données et de programmes. Les premières expériences conduites par les inventeurs datent de 1969. Aujourd'hui, Internet n'est plus réservé aux spécialistes, son succès est indiscutable et modifie notre rapport au savoir.

Internet contribue à une nouvelle organisation de la diffusion des savoirs

Internet atteindra son plein potentiel lorsqu'il sera devenu l'espace universel d'information. Les perspectives ouvertes seront alors immenses et il semble aujourd'hui difficile d'en imaginer les limites. Internet aura-t-il une influence analogue à celle de l'écriture et de l'imprimerie ? L'écriture a été à l'origine d'un basculement fondamental de la civilisation de l'oral à la civilisation de l'écrit : apparition du commerce en remplacement du troc (la frappe de la monnaie constituant un stockage de données sous une forme d'écriture), organisation de l'Etat, apparition du droit, de la pédagogie (transmission élargie d'informations de génération en génération)... Nouvelle forme de stockage et d'échanges d'informations, l'imprimerie a permis de diffuser le savoir, la mémoire, et marque également le développement de sciences expérimentales et des idées de démocratie.

Aujourd'hui, Internet contribue à la disparition de la concentration du savoir. Est-ce la fin de la fragmentation des savoirs ? Sommes-nous en train de construire une culture planétaire commune, une « planète intelligente » ? Des études montrent que la possibilité d'accès aux connaissances et l'acquisition des connaissances ne sont pas directement liées. En effet, lorsqu'on injecte de l'information dans une population, les segments de population ayant un statut socioéconomique supérieur tendent à acquérir cette information à un taux plus élevé que les segments de statut socioéconomique moins élevé. L'écart des connaissances entre ces segments de population tend à s'accroître et creuse ainsi un fossé cognitif. Ainsi, toute augmentation de l'information disponible accroît plus qu'elle ne les réduit les écarts culturels. En sera-t-il autrement avec Internet ?

Sommes-nous sur le chemin d'une révolution pédagogique ?

L'effet à long terme d'Internet, et plus généralement des TIC, sur l'apprentis-

sage des connaissances reste difficile à cerner, mais il sera sans aucun doute très important. La dernière révolution pédagogique remonte à l'invention de l'écriture, qui avait bouleversé la transmission du savoir. Aujourd'hui, pour certains philosophes, ce nouveau changement de support du savoir amorce une nouvelle révolution pédagogique dont il est encore impossible d'en comprendre le sens et les effets.

En outre, il est probable que la circulation de l'information, paramètre en pleine évolution, initie d'autres changements. Le sens de la pédagogie pourrait changer : aujourd'hui, on enseigne sans prendre en compte la demande. Demain, on enseignera selon les besoins et les possibilités des hommes, ceux-ci sauront chercher le savoir. Michel Serres l'illustre ainsi « le savoir était un lieu d'apprentissage de la déduction, de l'induction, de la mémoire. Il devient aujourd'hui un lieu de promenade (...) L'homme se promènera dans le volume de l'information comme il se promène dans les forêts et les montagnes ».

Wikipedia, une encyclopédie libre et collective

L'exemple de l'encyclopédie en ligne Wikipedia illustre parfaitement cette nouvelle organisation du savoir. Rédigée par des milliers de volontaires et disponible dans une centaine de langues, Wikipedia s'impose aujourd'hui comme l'une des références du Net. Début 2002, Wikipedia comptait 20 000 entrées, il y en a aujourd'hui plus de 450 000, pour la seule version anglaise. Chaque page s'articule autour de 4 rubriques : l'article proprement dit, la rubrique « modifier » qui permet de changer immédiatement, sans restrictions ni discussions, la page concernée, la rubrique « discussion » qui permet d'échanger des idées sur le contenu de la page sans la modifier, et « l'historique » de la page comportant un grand nombre de versions antérieures.

Plus les sujets sont importants et consultés, plus Wikipedia semble efficace : les erreurs ont alors plus de chance d'être remarquées et rectifiées. La possibilité d'ajouter rapidement des informations constitue le point fort de ce système. En outre, la totalité de Wikipedia est libre de tous droits, ce qui encourage son utilisation. Enfin, des modérateurs surveillent que les règles de base (ne pas écrire sur soi, ne pas donner d'avis, respecter les règles de savoir-vivre, rester objectif) sont respectées. Même si, comme tout ouvrage de référence, cette encyclopédie ne peut servir d'unique source d'information, Wikipedia semble posséder un grand nombre d'atouts.

L'omniprésence de l'informatique et d'internet bouleverse nos échanges personnels comme professionnels.



La révolution quantique : les promesses de nouvelles matières

La physique quantique a participé à la révolution de l'ADN dans les années 1950. Elle contribua aussi à l'invention du transistor, donc au développement de l'électronique. Mais la physique quantique n'est pas restée inactive ces dernières années. Des avancées prometteuses, liées à la création de nouvelles matières, vont déterminer le cours du siècle prochain.

A l'échelle du nanomonde

Le préfixe nano vient du grec et signifie très petit : le nanomètre (nm) est le milliardième de mètre soit 0,000 000 001 mètre.

Un nanomètre est :

- 4 atomes de silicium mis l'un à côté de l'autre,
- 100 fois plus petit que la molécule d'ADN,
- 30 000 fois plus fin que l'épaisseur d'un cheveu.

L'essor des nanotechnologies

Une approche de la matière qui modifie profondément ses propriétés physiques et chimiques

Les nanotechnologies concernent les techniques qui élaborent des matériaux, des structures ou des systèmes à l'échelle du nanomètre. Une organisation de la matière à cette échelle modifie profondément ses propriétés physiques et chimiques et engendre des fonctionnalités nouvelles.

Evoquées dans les années 1970, rêvées dans les années 1980, les nanotechnologies se sont développées depuis en utilisant deux méthodes :

- la voie descendante ou l'ultra-miniaturisation (fabrication « *top down* ») : on part d'un matériau et on le sculpte pour réduire le plus possible les dimensions de l'objet que l'on veut fabriquer ;
- la voie ascendante (fabrication « *bottom up* ») : on assemble la matière atome par atome pour construire des molécules que l'on intègre ensuite dans des systèmes plus grands.

Au niveau mondial, les nanosciences constituent un secteur de recherche extrêmement compétitif, avec un potentiel de développement économique considérable dans de nombreux domaines (informatique, énergie, matériaux, médecine...). Le chiffre d'affaires au niveau mondial est estimé à 1 000 milliards de dollars à l'horizon 2015. La France est reconnue comme un acteur majeur. Classée au 5^{ème} rang mondial en terme de nombre de publications dans le domaine des nanosciences, la France arrive au 2^{ème} rang européen derrière

l'Allemagne d'après une étude comparative de la commission européenne sur l'effort public des pays membres dédié aux nanosciences.

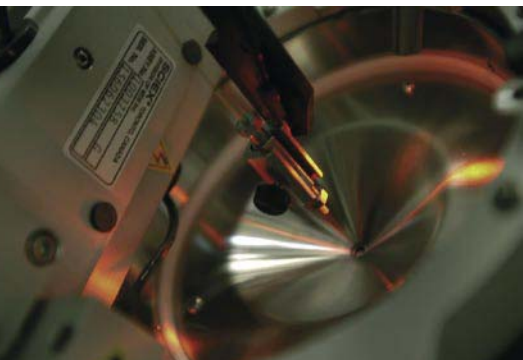
De nouveaux matériaux pour le 3^{ème} millénaire

Actuellement, les techniques de fabrication des objets nanométriques développées dans les laboratoires peuvent être qualifiées « d'artisanales ». Elles ne permettront pas une production industrielle : déplacer les atomes un par un avec une « pince à atomes » exigerait beaucoup trop de temps. Les scientifiques cherchent donc à développer de nouvelles techniques qui permettent une fabrication industrielle des nanocomposants. Néanmoins, certains nano-objets ont déjà vu le jour et promettent des changements importants dans notre quotidien pour l'avenir :

- Un matériau souple, léger, solide et conducteur

Le nanotube de carbone est une structure artificielle découverte en 1991 dans un laboratoire japonais. Il s'agit d'un feuillet de graphite formé d'atomes de carbone disposés en réseau hexagonal, comme un nid d'abeilles, et enroulé sur lui-même comme un cigare. Son diamètre est de l'ordre du nm, sa longueur peut atteindre plusieurs micromètres. Actuellement, les applications sont limitées en raison de la difficulté de contrôler ses dimensions et son enroulement. Mais les propriétés exceptionnelles du nanotube promettent des applications nombreuses dans un avenir proche :

100 fois plus résistant et 6 fois plus léger que l'acier, le nanotube peut être utilisé pour fabriquer des matériaux



Le développement des nanotechnologies implique de nombreux défis scientifiques et technologiques, et notamment celui d'inventer des instruments d'observation et de fabrication de systèmes aussi petits.

composites de haute performance. Il est déjà employé pour renforcer certains clubs de golf et raquettes de tennis (remplaçant les traditionnelles fibres de carbone).

En fonction de l'angle d'enroulement du feuillet de graphite, le nanotube est soit un excellent conducteur d'électricité, soit un semi-conducteur. Les nanotubes conducteurs pourront être utilisés dans la fabrication des nanofils électriques, qui pourront notamment servir de nanoélectrodes dans les écrans plats de télévision et d'ordinateurs. Les nanotubes semi-conducteurs pourront servir d'éléments de jonction pour fabriquer des composants électroniques nanométriques.

- Des nanomatériaux plus résistants et plus légers

Les alliages métalliques utilisés actuellement dans les matériaux de construction sont en général composés de grains de dimensions micrométriques. En diminuant la taille de ces grains, on obtient des matériaux qui sont plus légers et qui ont de meilleures propriétés mécaniques. Ces propriétés pourront être exploitées dans des secteurs très divers : matériaux de construction pour le bâtiment, appareils électroménagers, appareils médicaux... Les moyens de transport terrestres, maritimes et aériens seront plus légers, consommeront moins d'énergie et seront donc moins polluants pour l'environnement.

Les espoirs de la nanobiotechnologie

D'ores et déjà, des applications dans ce domaine ont vu le jour. On peut citer l'instrumentation médicale : on dispose actuellement d'instruments inférieurs à la taille d'une cellule ! Par exemple, la plus petite pipette a un tube de 15 nm de largeur, soit 500 fois plus petit qu'un globule rouge. D'autres applications pleines de promesses verront le jour prochainement, en voici quelques exemples.

- Des implants et des prothèses biocompatibles

Les prothèses actuelles (hanche, genou...) sont en métal et en polyéthylène et ont une durée de vie de 10 ans en moyenne. Le remplacement du métal par de la céramique renforcée par des nanoparticules pourra augmenter cette

durée de 30 ans. Les prothèses recouvertes de nanoparticules auront une meilleure biocompatibilité : elles se fixeront plus solidement au tissu osseux et le patient les supportera plus aisément.

A plus long terme, les implants biocompatibles pourraient faciliter les greffes. Prenons l'exemple du diabète. Un moyen de traiter le diabète consisterait à remplacer chez le diabétique les cellules du pancréas qui sécrètent l'insuline et qui sont défailantes par des cellules d'un donneur sain. Mais la greffe peut être rejetée par le système immunitaire du patient. Pour éviter cela, on pourrait encapsuler ces cellules greffées dans une membrane nano-poreuse. Cette membrane laisserait pénétrer les substances nutritives nécessaires aux cellules, sortir l'insuline sécrétée, mais empêcherait les anticorps d'atteindre les cellules greffées. Ainsi, les cellules greffées seraient préservées de l'attaque du système immunitaire.

- Des capteurs chimiques et biologiques, sensibles, rapides et bon marché

Les méthodes traditionnelles pour déterminer la présence ou la concentration d'une substance chimique ou d'un agent bactériologique sont relativement lourdes, lentes et coûteuses. Grâce au principe de l'interrupteur à canal ionique, les nanotechnologies pourraient remédier à ces inconvénients. Le principe est simple. A l'état normal, les ions passent à travers des canaux nanométriques, créant ainsi un courant électrique. Quand la molécule à détecter arrive sur le capteur, elle se fixe sur un récepteur et bloque le canal ionique, supprimant ainsi le courant électrique. En mesurant la diminution du courant électrique, on détecte la présence de la molécule. Un capteur de ce type serait si sensible qu'il détecterait un morceau de sucre jeté dans un lac. Les applications sont nombreuses : surveillance de la qualité de l'eau et des aliments, analyse médicale, détection des attaques bactériologiques...

Les énergies de demain

Les limites des énergies existantes

Les énergies fossiles sont toujours plus rares et coûteuses, et en partie responsables du réchauffement de la planète. Les énergies renouvelables sont aujourd'hui sous-exploitées : elles ne représentent que 7% des ressources énergétiques consommées. Mais même avec un effort maximal de développement de toutes les énergies renouvelables, l'énergie produite représenterait moins de 45% de l'énergie finale consommée en 2002 !

Il paraît donc urgent de trouver d'autres sources d'énergies, inépuisables, bon marché et sans dommage pour l'environnement. Les innovations technologiques émergentes dans ce domaine sont et seront fortement guidées par les impératifs suivants :

- assurer les besoins énergétiques, tout en réduisant les impacts environnementaux,
- veiller à une gestion prudente et responsable des ressources non renouvelables,
- améliorer les rendements et limiter les pertes d'énergie, celles-ci représentant 37% de la consommation primaire française.

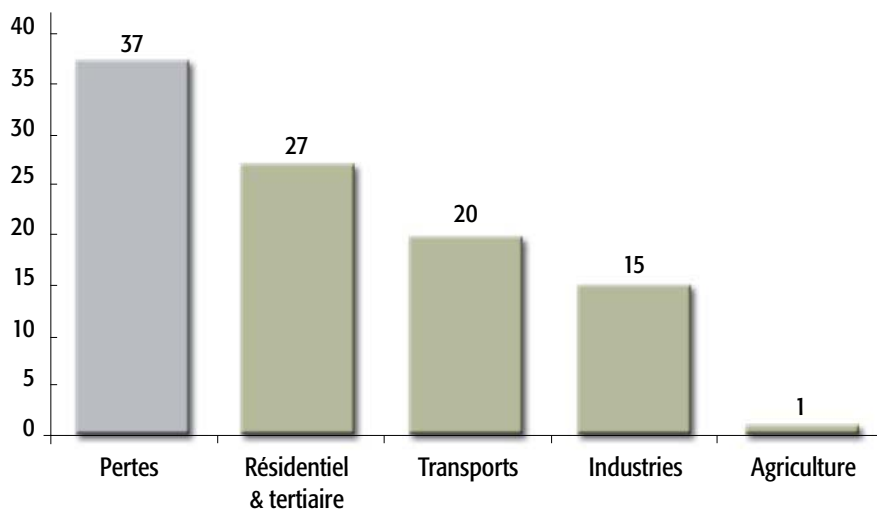
Les énergies de demain, ont fait l'objet d'une étude prospective du ministère délégué à la recherche et aux nouvelles technologies en 2004. De manière à assurer autant que possible l'indépendance nationale, ce rapport préconisait le développement raisonné des voies nucléaires du futur pour la production d'électricité, d'hydrogène, ou de chaleur. A moyen et long terme, il s'agit de favoriser les réacteurs à rendement thermodynamique amélioré, le recyclage des combustibles et la mise en œuvre de réactions nucléaires produisant moins de déchets, et à très long terme, la maîtrise de la fusion nucléaire.

L'hydrogène, un vecteur énergétique prometteur

L'hydrogène présente l'avantage d'éviter toute production de CO₂. Les voies de production sont multiples, mais à moyen et long terme, l'électrolyse de l'eau et le recours à un cycle thermochimique de craquage de l'eau semblent être les plus prometteurs.

Les applications visées sont d'abord les transports terrestres routiers, mais aussi les usages industriels de l'énergie,

Répartition de la consommation primaire d'énergie en France en pourcentage (2002)



Source : MRNT/MSPT (ministère délégué à la recherche et aux nouvelles technologies, mission scientifique technique et pédagogique)

voire les applications domestiques. Pour les transports terrestres, des recherches sur le développement de moteurs à hydrogène sont à mener en terme de rendement et de performances, de souplesse de fonctionnement, de pollution et de sécurité.

A l'heure actuelle, le stockage est certainement le verrou technologique le plus important, et implique encore d'importantes recherches de base.

Le développement de la biomasse

La contribution de la biomasse à la consommation d'énergie primaire s'élevait à moins de 4% en 2002. Or, le gisement pourrait couvrir de l'ordre de 8% des besoins. Les processus de base de la conversion de la biomasse vers les formes d'énergies sont connus, mais les rendements énergétiques sont encore pauvres. Améliorer ces rendements et gérer les déchets de la combustion sont les enjeux actuels de la recherche.

Améliorer la fission nucléaire par une nouvelle génération de réacteurs

Des innovations technologiques tentent de traiter les problèmes associés aux réacteurs nucléaires : la sûreté, les déchets et l'épuisement du combustible. Les problèmes de sûreté sont toujours pris en compte. Concernant les déchets, trois niveaux d'actions sont envisagés : l'enfouissement sous un conditionnement adapté qui nécessite la maîtrise sur de très longues durées des zones de stockage de déchets radioactifs, la destruction des déchets par incinération dans des réacteurs dédiés d'un nouveau type, la réduction du volume et du temps de radioactivité des

déchets produits. Quant à la question de l'épuisement du combustible, elle nécessite la mise en œuvre de nouvelles filières nucléaires : adjoindre à l'isotope actuel (Uranium 235), l'isotope Uranium 238 (200 fois plus abondant) et le Thorium 232 (encore plus abondant). Pour utiliser les isotopes ^{238}U et ^{232}Th , de nouveaux réacteurs en sont au stade des études de faisabilité scientifique et technique : ils sont dits de génération IV.

La fusion nucléaire : une voie explorée

La fusion nucléaire consiste à copier le processus naturel intervenant au cœur du soleil : les noyaux de 2 atomes de deutérium (forme lourde de l'hydrogène) se fondent pour former du tritium (autre forme de l'hydrogène) en dégageant une grande quantité d'énergie. Les délais nécessaires pour maîtriser la fusion seront certainement longs (plus de 50 ans). De nombreuses incertitudes techniques alimentent encore le bien-fondé de tels investissements. Mais l'enjeu est majeur car la fusion résoudrait définitivement les problèmes d'approvisionnement énergétique. En effet, le carburant de base pour les machines à fusion pourrait être l'eau de mer, très riche en deutérium.

Lancé dans les années 1980, le projet Iter (International thermonuclear experimental reactor) a pour objectif de démontrer la possibilité scientifique et technologique de la production d'énergie par fusion nucléaire. En juin 2005, le site d'implantation du 1^{er} réacteur de fusion nucléaire a été décidé : il s'agit de Cadarache (près de Marseille).

La biomasse est la matière d'origine végétale ou animale obtenue de manière naturelle ou provenant de transformations artificielles de la matière (déchets forestiers, déchets agricoles et résidus solides urbains).

Elle se décompose en 3 secteurs :

- le bois énergie, le plus connu et le plus utilisé
- le biogaz, production de méthane par fermentation anaérobie de matières organiques
- les biocarburants, production de carburants à partir de végétaux. On peut distinguer :
 - les biocarburants huile (ou biodiesel) produits à partir d'oléagineux : colza, tournesol... et les biocarburants alcool, produits à partir de végétaux riches en sucres tels que betterave, orge, maïs, blé, canne à sucre... qu'on transforme en éthanol.

La France est le premier producteur européen de biocarburants (près de 50% de la production européenne en 2000).

Un défi : repenser les questions éthiques et le principe de précaution

A l'heure actuelle, les nouvelles techniques visent à maîtriser, certains diront « manipuler », la vie, la matière et l'intelligence. Nous assistons en outre au développement d'une nouvelle approche dans la perception qu'ont les scientifiques de leur propre discipline. Auparavant, la spécialisation était la règle et certains scientifiques, explorant toujours davantage leur discipline, ignoraient les développements accomplis dans d'autres domaines.

Cette époque semble à présent révolue. Le 21^{ème} siècle sera marqué par la synergie entre les disciplines scientifiques. Le développement de la science en sera probablement accéléré et considérablement enrichi mais apportera aussi davantage de pouvoir sur la vie, l'intelligence et la matière. De nouvelles barrières sont et seront franchies, des questions éthiques inédites se posent et placent le principe de précaution au cœur du débat.

Une réponse unique et mondiale à la question du clonage

Les bienfaits des biotechnologies sont indéniables et ne remettent pas en cause leur existence. Cependant, comme toute technologie, elles peuvent être utilisées à des fins controversées comme les OGM ou le clonage humain. L'ONU a tardé à prendre une décision générale sur le clonage (thérapeutique et reproductif) mais c'est désormais chose faite. Le 8 mars 2005, l'Assemblée générale des Nations Unies a adopté la Déclaration des Nations Unies sur le clonage des êtres humains. Ce texte encourage les gouvernements à interdire toutes les formes de clonage humain dans la mesure où elles seraient incompatibles avec la dignité humaine et la protection de la vie humaine (cette nuance incluant la protection de l'embryon). Mais cette déclaration est non exécutoire et ne présente pas de statut légal. La France fait partie des pays européens qui s'y sont opposés, et se montre favorable au niveau international à autoriser le clonage thérapeutique, pourtant interdit au niveau national.

Les OGM, un débat à relancer sur de nouvelles bases ?

Le débat sur les OGM a souvent été confus, insuffisant, incompris, mais toujours passionné. A l'heure actuelle, les cultures d'OGM représentent 5% des cultures mondiales. En l'an 2000, la France cultivait 40 hectares d'OGM. Mais depuis la levée du moratoire sur les nouvelles autorisations d'OGM en Europe, le 18 mai 2004, la diffusion des plantes transgéniques est possible. La coexistence de cultures transgéniques et non transgéniques est autorisée. L'étiquetage des produits contenant de l'ADN génétiquement modifié est garanti.

Allons-nous pour autant assister à une diffusion massive des OGM en Europe et atteindre un taux d'adoption comparable à celui de nos voisins d'outre-atlantique ? Deux raisons pourraient être de sérieux freins à cette diffusion tant redoutée par les opposants aux OGM :

- une part non négligeable et apparemment stable de l'opinion publique reste opposée aux produits transgéniques. L'Eurobaromètre indique que 30% des Européens (41% des Français) se déclarent très inquiets face à l'utilisation des OGM en 2002. En outre, le manque d'informations persiste : seulement 30% des Européens (21% des Français) se déclarent très bien ou assez bien informés concernant l'utilisation des OGM.
- la diffusion de semences transgéniques sera vraisemblablement limitée par l'absence de réelle clarification des droits de propriété pour les semences OGM et de la responsabilité environnementale des agriculteurs. Cette situation d'indétermination des droits de propriété, cumulée aux incertitudes quant aux risques potentiels des OGM pour la santé et pour l'environnement, a des répercussions sur le secteur de l'assurance. En cas de coexistence de cultures, le risque de contamination des cultures non transgéniques est tel que les assureurs ont clairement exprimé leur refus d'assurer les agriculteurs utilisateurs d'OGM.

Il est donc tout à fait envisageable que la demande et la diffusion des semences transgéniques stagnent encore plusieurs années en Europe, donnant ainsi le temps de rouvrir le débat.

Retisser les liens entre les sciences de la vie et la réflexion éthique

Le dialogue sur les OGM et sur les techniques permettant de manipuler la vie doit rester ouvert, alimenté par des scientifiques compétents, des citoyens éclairés, des acteurs économiques et politiques responsables. En février 1975, 140 chercheurs de la communauté scientifique mondiale concernée par la technologie alors émergente du génie génétique se sont réunis au Centre Asilomar de Pacific Grove (Californie). La conférence s'était conclue par la « déclaration d'Asilomar » appelant la communauté scientifique à mettre en œuvre un certain nombre de mesures de précaution et de prévention, face aux risques encore inconnus du génie

génétique. 30 ans après, des questions inédites se posent et appellent à ouvrir un espace et un temps au débat et à la réflexion. Et si le temps de retisser le lien toujours fragile entre les sciences de la vie et la réflexion éthique était venu ?

Innover tout en explorant les risques éventuels : un enjeu pour les nanotechnologies ?

Les nanotechnologies, comme toutes les technologies, ont leur part de risques, d'incertitudes, qu'il faut tenter de prévoir et de contrôler. La perspective de manipuler la matière à l'échelle moléculaire et d'interférer avec le monde du vivant pose bien évidemment des questions d'éthique. En outre, la dimension nanométrique permet à des objets de cette échelle de franchir des barrières naturelles comme la peau, les voies respiratoires... Les risques de dissémination intra-corporelle ou dans l'environnement ne doivent pas être cachés. Les nanoparticules pourraient en effet s'accumuler dans l'environnement sans se dégrader et ainsi perturber les écosystèmes, voire avoir des effets toxiques sur l'Homme. L'indestructibilité ou au contraire leur extrême réactivité, leur capacité à adsorber et à transporter des molécules dangereuses et, bien sûr, leur extrême mobilité sont mises en avant.

Comme dans tout nouveau domaine, il convient d'être vigilant sur les effets imprévus et nuisibles ou sur le détournement des objectifs premiers. Les études menées ne permettent pas réellement de conclure à un risque accru, mais il convient bien sûr de continuer à mener les investigations en parallèle des développements technologiques. Ces risques doivent être mis en balance avec les avantages immenses que les nanotechnologies sont susceptibles d'apporter, dans le domaine de la santé et de l'environnement en particulier.

Les recherches menées sur les énergies de demain sont guidées par les enjeux de ce secteur

La source idéale d'énergie, c'est à dire inépuisable, bon marché et propre, n'existe pas. Seule la fusion pourrait se rapprocher de cet objectif mais sa mise en œuvre effective est loin d'être acquise.

Les innovations technologiques dans ce secteur sont par conséquent fortement guidées par les impératifs de ce secteur. Les énergies doivent être disponibles, compétitives, contribuer au développement et à l'indépendance de ce secteur. Il est important de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de respecter les accords de Kyoto de 1997.

Mais pour répondre efficacement à ces impératifs, le développement et l'adoption de nouvelles technologies ne peuvent se faire sans le changement des habitudes individuelles, la transformation de l'aménagement urbain et des transports... Enfin, même si le protocole de Kyoto est appliqué à la lettre, les activités humaines entraîneront quand même dans 15 ans une plus grande quantité d'émissions atmosphériques de gaz à effet de serre. En effet, l'engagement des pays industrialisés (réduire de 5,2% l'émission de gaz à effet de serre) ne permettra pas de compenser l'augmentation des émissions dans des pays comme la Chine et l'Inde. Le rythme actuel des changements climatiques mondiaux entraînera-t-il des nouvelles négociations internationales visant des objectifs encore plus draconiens que ceux de Kyoto ?

Le principe de précaution au cœur du débat

Les progrès scientifiques et techniques remettent souvent en débat le principe de précaution et ses applications. Le principe de précaution vise à limiter les risques encore hypothétiques, ou potentiels, tandis que la prévention s'attache à contrôler les risques avérés. Mais la précaution n'est pas synonyme d'inaction ou d'abstention systématique. Au contraire, l'incertitude doit conduire non seulement à la mobilisation des connaissances et des compétences variées, mais aussi à des décisions inscrites dans un cadre rigoureux et faisant l'objet d'un suivi.

Les ajustements nécessaires préconisés par le rapport Kourilsky et Viney 1999

L'exercice de la précaution implique des devoirs à un grand nombre d'acteurs et, de ce fait, une certaine évolution sociale. Citons quelques exemples tirés notamment du rapport sur le principe de précaution de P.Kourilsky et G.Viney de 1999 :

- Les politiques auront à ajuster leur comportement et à régler celui des administrations qu'ils contrôlent afin d'optimiser la sécurité, la prévention et d'améliorer la transparence. Ceci passe notamment par des outils d'évaluations des choix scientifiques et technologiques tel que l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques. L'OPECST a pour mission d'informer le Parlement des conséquences des choix de caractère scientifique et technologique afin d'éclairer ses décisions. A cette fin, il recueille des informations, met en œuvre des programmes d'études et

procède à des évaluations. « Les nouvelles technologies de l'énergie », « la définition et les implications du concept de voiture propre », « les recherches sur le fonctionnement de cellules vivantes » font notamment partie des études en cours. La consultation des citoyens, dans des domaines parfois très pointus, est souvent délicate et reste à ajuster. Les Conférences de Citoyens sont par exemple courantes dans le nord de l'Europe, au Royaume-Uni, aux Pays-Bas et ont donné lieu à des applications. La 1^{ère} Conférence de Citoyens organisée en France date de 1998 et concernait un sujet déjà controversé à l'époque : les OGM.

- Les liens entre les scientifiques et la société civile peuvent être améliorés. Les scientifiques auront à s'investir dans le dialogue public. Les spécialistes reconnaissent une certaine faiblesse de la culture de santé publique et environnementale en France, par comparaison avec la Grande-Bretagne par exemple.
- L'expertise scientifique doit être pluridisciplinaire et contradictoire. Un expert énonce une opinion éclairée mais n'est pas exempt de préjugé. L'Histoire montre que les controverses scientifiques sont fréquentes. Même si chaque scientifique minoritaire n'est pas Galilée, les opinions dissidentes doivent également être entendues. Ceci implique évidemment d'accorder des moyens suffisants à l'expertise et à la recherche.
- Les producteurs de biens et services des secteurs privé et public devront perfectionner leurs procédures, améliorer la fiabilité, la traçabilité et l'étiquetage des produits. Cette transparence réclamée par l'opinion publique implique la mise à disposition d'informations pertinentes et accessibles au

plus grand nombre. Elle permet également le partage des responsabilités entre des citoyens informés et l'Etat, souvent accusé de tous les maux.

- Les médias se devront d'être particulièrement rigoureux dans l'exactitude de l'information et ne pas céder aux spéculations et aux fantasmes face à l'incertitude.

Le principe de précaution : une mise en œuvre à géométrie variable

Cependant, on ne doit pas attendre du principe de précaution qu'il aboutisse à l'éradication totale des risques. Cela est impossible : l'application, même optimale, du principe de précaution laissera probablement subsister un risque, jugé acceptable ou non une fois mis en balance avec les bénéfices attendus. En outre, le principe de précaution ne doit pas se traduire par une simple addition de mesures aux systèmes existants et décourager les initiatives nécessaires à l'innovation et au progrès. De même, il ne doit pas conduire à une responsabilisation excessive ou à l'immobilisme des décideurs. Il s'agit plus de refonder des systèmes existants pour en accroître l'efficacité et la fiabilité, et ainsi assurer réellement la sécurité des citoyens. L'homme peut faire du principe de précaution le meilleur comme le pire des usages. C'est pourquoi sa mise en œuvre doit être réalisée avec la plus grande vigilance.

Ressources mobilisées

Généralités

La science au présent 2004 : une année d'actualité scientifique et technique .- Encyclopaedia universalis, 2004

Kaku M. - *Visions : comment la science va révolutionner le XIX^{ème} siècle* .- Ed. Albin Michel, 1997

Maddox J. - *Ce qu'il reste à découvrir* .- Bayard Editions, 1998

Michaud Y. (dir.) - *Les technologies* .- Ed. Odile Jacob, 2002 (coll. Université de tous les savoirs, vol. 7)

Salomon J.-J. - *Survivre à la science : une certaine idée du futur* .- Ed. Albin Michel, 1999

Thouin M. - *Notions de culture scientifique et technologique* .- Ed. MultiMondes, 2001

Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (Insee) - [en ligne] .- Disponible sur : www.insee.fr (consulté en 2005)

La Documentation française - éditeur et diffuseur public de références dans les domaines de l'actualité administrative, politique, économique, sociale et internationale - [en ligne] .- Disponible sur : www.ladocumentationfrancaise.fr (consulté en 2005)

Revue électronique Vivant - site proposant l'actualité des sciences et des débats sur le vivant - [en ligne] .- Disponible sur : www.vivantinfo.com (consulté en 2005)

Vie publique - site proposé par la direction de la documentation française, direction d'administration centrale des services du premier ministre placée sous l'autorité du Secrétaire général du gouvernement - [en ligne] .- Disponible sur : www.vie-publique.fr (consulté en 2005)

Biologie, médecine, santé

European Opinion Research - *Group Eurobaromètre 58.0 : les attitudes des européens à l'égard de l'environnement* . [en ligne] .- Bruxelles, 2002 .- Disponible sur : http://europa.eu.int/comm/public_opinion/archives/ebs/ebs_180_fr.pdf (consulté en 2005)

KOPP P. (dir.) - Le secteur français des biotechnologies . [en ligne] .- CDC Entreprises, décembre 2003 .- Disponible sur : www.cdcpme.fr/images/PDF/etude_france_biotech_1203.pdf (consulté en 2005)

Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) - [en ligne] .- Disponible sur : www.afssa.fr (consulté en 2005)

France-ADOT - site de l'association pour le don d'organes et de tissus humains - [en ligne] .- Disponible sur : www.france-adot.org (consulté en 2005)

Généthique - site d'information et d'analyse sur l'actualité bioéthique - [en ligne] .- Disponible sur : www.genethique.org (consulté en 2005)

OGM Dangers - site d'une association de lutte contre les OGM - [en ligne] .- Disponible sur : www.ogmdangers.org (consulté en 2005)

Professionnels des semences et de la protection des cultures - [en ligne] .- Disponible sur : www.ogm.org (consulté en 2005)

Site interministériel sur les OGM - [en ligne] .- Disponible sur : www.ogm.gouv.fr (consulté en 2005)

Informatique, nouvelles technologies de l'information et de la communication

Blanckesteijn H. - *Wikipedia, l'encyclopédie libre et fière de l'être* . Courrier International, 2005, n° 749

Breton P. - *Le culte de l'Internet : une menace pour le lien social ?* .- Ed. La Découverte/ Sur le vif, 2000

Direction de la Prospective et de la Stratégie d'Agglomération, Grand Lyon - *L'ère de l'information : enjeux économiques, sociaux et démocratiques* . Les Cahiers Millénaire 3, 2000, n° 22

Labasse B. - *Société de l'information : quelle information, pour quelle société ?* . Note Millénaire 3, 2001, n° 1

Lévy P. - *L'Intelligence collective : pour une anthropologie du cyberspace* .- Ed. La Découverte/Poche, 1997

Agence Nationale de Lutte contre l'Illettrisme (ANLCI) - [en ligne] .- Disponible sur : www.anlci.gouv.fr (consulté en 2005)

Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE) - *Perspectives des technologies de l'information de l'OCDE* [en ligne] .- Disponible sur : www.ocde.org (consulté en 2005)

Pillou J.-F. - *CCM, encyclopédie informatique* [en ligne] .- Disponible sur : www.commentcamarche.net (consulté en 2005)

Wikimédia France - *Wikipédia, l'encyclopédie libre* [en ligne] .- Disponible sur : www.wikipedia.org (consulté en 2005)

Nouvelles matières, nouvelles énergies

Ministère délégué à l'Enseignement supérieur et à la Recherche - *L'énergie au XXI^{ème} siècle : une réflexion prospective* . [en ligne] .- Ministère délégué à l'Enseignement supérieur et à la Recherche, 2004 .- Disponible sur : www.recherche.gouv.fr/mstp/energie_mstp_200401.pdf (consulté en 2005)

Ministère délégué à la Recherche et Nouvelles technologies - *A la découverte du nanomonde* . [en ligne] .- Ministère délégué à la recherche et aux nouvelles technologies, 2003 .- Disponible sur : www.nanomicro.recherche.gouv.fr (consulté en 2005)

Ministère délégué à la Recherche et Nouvelles technologies - *Site du projet Iter* . [en ligne] .- Disponible sur : www.iter.gouv.fr (consulté en 2005)

Ministère délégué à la Recherche et Nouvelles technologies - *NanoSciences, NanoTechnologies* . [en ligne] .- Disponible sur : www.nanomicro.recherche.gouv.fr (consulté en 2005)