

INSTALLATION DU BUREAU POUR L'ANNÉE 2012

Discours de Monsieur Jean-François MOROT-GAUDRY

Président sortant¹

CHIMIE VERTE (DU VÉGÉTAL) ET AGRICULTURE DE DEMAIN

Rencontres entre l'agriculture et la chimie

Les produits agricoles remplaceront-ils les produits issus du pétrole quand ce dernier fera défaut ?

Nous sommes aujourd'hui confrontés à l'épuisement des ressources fossiles et aux conséquences de l'activité humaine sur notre environnement et sur la santé humaine : pollution des eaux, des sols et de l'atmosphère (gaz à effet de serre). Les avancées scientifiques dans le domaine des plantes, les technologies de transformation, les biotechnologies, permettent d'envisager à terme que les produits du carbone renouvelable, issus de la fraction non-alimentaire de la biomasse, remplacent ceux issus des matières fossiles dans les domaines des énergies, des matériaux et de la chimie fine. Les produits végétaux peuvent en effet remplacer le pétrole dans la majorité des « *process* » de l'industrie chimique. Ils ont l'avantage d'être renouvelables, biodégradables, et leur production ne contribue pas ou peu à l'émission de gaz à effet de serre. Cependant, pour se substituer à la pétrochimie, cette chimie verte doit encore démontrer son efficacité industrielle, économique et environnementale.

Quoi qu'il en soit, la chimie verte est devenue un axe prioritaire de recherche et de développement dans le monde entier. L'Amérique ne s'y est pas trompée : l'Académie américaine des Sciences a déclaré, en 2005, que les sciences biologiques vont vraisemblablement avoir le même impact sur la formation de nouvelles industries que les sciences physiques et chimiques l'ont eu au XX^e siècle. Les pays émergents (Brésil, Chine, etc.), conscients de cette nouvelle révolution, se sont lancés dans la valorisation de la biomasse végétale. Si en 2011, 90% des produits chimiques sont d'origine pétrochimique, en 2030, 25% à 30% des principales molécules de base devraient être issues du carbone renouvelable. Ces opportunités doivent être envisagées dans le cadre général de l'agriculture, des forêts, des paysages, sans oublier la préservation de la biodiversité.

Que sont les bioproduits ? Les bioproduits sont définis comme « *produits énergétiques et industriels issus du végétal hors des domaines de l'alimentaire et de la santé, et dont les applications portent sur l'énergie (biofuels), la chimie organique et les biomatériaux, fabriqués directement ou indirectement à partir de biomasse. Il peut s'agir de produits nouveaux ou novateurs ou de produits traditionnels* » (Groupe de réflexion ARP-Véga INRA 2009).

¹ Président de l'Académie d'Agriculture de France pour l'année 2011, Directeur de recherche honoraire de l'INRA, laboratoire de la Nutrition azotée des Plantes, 78026 Versailles. Courriel : morot@versailles.inra.fr
C.R.Acad. Agric. Fr., 2011, 98, n°1. Séance du 4 janvier 2012.

Les groupes majeurs de bioproduits identifiés sont: les extraits végétaux présentant une activité biologique (métabolites) ou physique (colorants), les intermédiaires chimiques, les biolubrifiants, les biotensioactifs, les bioplastiques, les biocomposites, les biocarburants et biocombustibles. A ce sujet, il est important de noter que l'utilisation du carbone renouvelable, issu de la biomasse, pour remplacer les produits de l'ex-pétrochimie, peut être envisagée selon trois approches différentes :

- l'obtention des mêmes molécules à partir de la transformation de la biomasse, c'est-à-dire la substitution directe : cas du glycérol,
- la substitution indirecte de ces molécules par des molécules de structure différente mais ayant des activités identiques : huiles végétales en remplacement d'huiles issues de la pétrochimie,
- la valorisation des propriétés originales de certaines fractions végétales : carotènes, métabolites secondaires, etc.

A ces molécules, il faut faire correspondre des plantes capables de les synthétiser, plantes existant déjà (de grande culture, sauvages et éventuellement exotiques) ou plantes à définir dans le futur par génétique classique ou par transgénèse.

Nous verrons que ces différentes stratégies, si intéressantes soient-elles, ne sont pas si simples qu'il y paraît et posent encore de nombreuses questions :

Étudions trois aspects particuliers : les fibres végétales, les acides gras et les lignines, et examinons les difficultés rencontrées par ces productions.

1) Les fibres végétales

Les fibres végétales sont utilisées depuis l'Antiquité pour la confection des vêtements et des cordages. Elles peuvent être soit un des constituants de la paroi végétale (cellulose pure, nano-fibres), soit la paroi elle-même (exemple de la fibre papetière, ou des faisceaux de fibres textiles issues du lin). Dans les deux cas, il convient toutefois de distinguer les différents types de fibres en fonction des domaines d'application :

– **les fibres « tout venant »**, extraites par divers procédés plus ou moins drastiques et produisant des structures fibreuses altérées ou fortement modifiées, souvent aux propriétés mécaniques moyennes, mais suffisantes. Ce sont par exemple les fibres utilisées pour l'élaboration du papier, des mats de fibres courtes, de certains composites chargés de fibres, etc. Les plantes utilisées pour ce type de produits sont généralement des plantes à photosynthèse C4 comme le maïs, la canne à sucre et le sorgho ainsi que des arbres (eucalyptus, pins, peupliers, etc.) ;

– **les fibres « longues »**, produits purs, sans défaut, facilement extractibles et à usage spécifique (textile, plasturgie, emballage) ou en renfort pour composites de toute sorte. Ce sont des fibres ou des faisceaux de fibres que l'on extrait de plantes dédiées en maintenant au maximum leur intégrité, préservant en particulier leurs propriétés mécaniques et de surface (réactivité, propriétés tribologiques). De plus, dans le cas des fibres longues de cellulose, par exemple, l'absence de contaminants (lignines, hémicelluloses, pectines...), provenant des autres constituants de la plante et associés aux fibres, est un avantage certain. Les plantes concernées pour ce type de production sont le lin, le chanvre, la ramie, le sisal, etc. Il est à remarquer que les productions de fibres « longues et pures » sont destinées à des marchés de niche de quelques milliers ou dizaines de milliers de tonnes, ce qui n'est pas comparable avec le tonnage de fibres « tout venant » utilisées par la papeterie (plusieurs millions de tonnes).

Il découle de ces diverses applications des cahiers des charges très différents. Concernant les fibres longues à haute valeur ajoutée par exemple, il est nécessaire de prendre en compte de nombreux critères. Il faut considérer la production *in planta*, les rendements, la maturité, et l'extraction du produit qui doit préserver au mieux les caractéristiques remarquables des fibres. Il ne faut pas négliger les opérations de traitement en vue de leur utilisation dans l'application finale (mécanique, thermique, chimique, enzymatique) et leur comportement dans les transformations ultimes lors de la réalisation du produit final: filage-tissage pour le textile, incorporation dans les matrices polymériques et extrusion/thermoformage pour les composites, formation de mats ou laines non tissées pour l'isolation thermique des habitations, etc.

Ces considérations amènent à bien définir le produit souhaité, donc l'application visée, et à considérer d'emblée les fibres dans leur environnement biologique et physique. Les premiers essais de transgénèse montrent que si l'on a connaissance des mécanismes généraux de synthèse des fibres élémentaires, on a, en revanche, peu de connaissances sur leur régulation *in planta* et de leurs interactions avec les autres constituants. Les propriétés des fibres *in planta* varient selon les espèces, les cultivars, les conditions agronomiques et pédoclimatiques. En conséquence, avant d'exploiter technologiquement ces produits, il est indispensable de mieux comprendre les mécanismes de biosynthèse et d'assemblage des constituants des parois végétales et d'explorer la diversité naturelle des caractéristiques des fibres en réalisant des phénotypages (étude de l'ensemble des caractères observables) exhaustifs par rapport à leurs propriétés mécaniques et à leurs propriétés d'usage.

2) Les lipides, en particulier les huiles végétales, sont des matières premières utilisables pour la production de biocarburants, de biolubrifiants, de tensioactifs et de bioplastiques. Les huiles végétales recherchées pour ces applications doivent présenter des propriétés physiques en accord avec les objectifs définis préalablement. Ces propriétés sont essentiellement dépendantes de leur composition en acides gras. Considérons, par exemple, la production de biodiésel et de kérosène. Je ne parlerai pas des procédés de gazéification et de pyrolyse (voies thermo-chimiques suivies du procédé Fischer-Tropsch qui fait intervenir la catalyse de monoxyde de carbone et d'hydrogène en vue de les convertir en hydrocarbure liquide, pétrole de synthèse), ni du procédé biologique de fermentation aboutissant à la synthèse de méthanol (projet INRA Futurool par exemple).

La **production de biodiésel**, qui n'est pas nouvelle, (les premiers moteurs diesel fonctionnaient à l'huile végétale), peut être effectuée soit par trans-estérification directe ou après hydrogénation. Dans le premier cas, la trans-estérification de trilinoléate de glycéryle (huile de colza) ($C_{57}H_{98}O_6$) par le méthanol (CH_3OH) aboutit à la formation de l'ester méthylique d'huile végétale (EMHV) ($C_{19}H_{34}O_2$) et de glycérol ($C_3H_8O_3$). Les molécules plus petites du biodiésel, ainsi obtenues, peuvent alors être utilisées comme carburant dans les moteurs à allumage par compression (moteur diesel). La trans-estérification s'effectue généralement à partir d'huiles végétales possédant un indice de cétane acceptable, une bonne tenue au froid et une bonne stabilité à l'oxydation. Les huiles répondant à ces critères sont celles qui présentent un fort pourcentage en acide oléique. Les plantes de grande culture produisant ce type d'huile dans les régions tempérées sont : le colza, le tournesol oléique et dans une moindre mesure le soja (22% d'acide oléique). Ces plantes étant cultivées principalement pour des besoins alimentaires, il y a risque de compétition au niveau de la disponibilité des surfaces cultivables dans les pays tempérés. Comme sources alternatives, le jatropha, après sélection pour éliminer les phorbols toxiques, pourrait être un bon candidat pour culture en zones arides et de forte salinité, en particulier sur le pourtour méditerranéen.

Dans le deuxième cas, le procédé d'hydrogénation consiste à transformer les triglycérides de l'huile végétale en leurs alcanes correspondants. L'hydrogénation permet par ailleurs d'éliminer tous les atomes d'oxygène ce qui rend le produit final plus stable. Enfin, les produits de la réaction sont essentiellement des alcanes, ce qui permet d'obtenir des indices de cétane élevés, proches d'un gazole idéal. Le palmier à huile, l'arachide et la cameline sont des sources importantes d'huiles qui devront préalablement être hydrogénées avant de produire du biodiésel.

La **production de kérosène** nécessite des huiles riches en acides gras à chaîne moyenne (8 à 12 atomes de carbone) dont l'hydrogénation génère des alcanes pouvant être directement utilisés comme carburant par les avions. Un vol d'essai a été réalisé le 30 janvier 2009 avec un Boeing 747-300 de Japan Airlines équipé de moteurs Pratt & Whitney JT9D. Le moteur était alimenté par un mélange de kérosène et d'un agrocarburant à base de cameline (« lin bâtard »), de jatropha et d'algues. Le 18 juin 2011, un biréacteur d'affaires Gulfstream G450 s'est posé au Bourget à l'occasion du salon aéronautique en provenance du New Jersey. Il a réalisé le premier vol transatlantique utilisant un biocarburant produit à base de cameline. Il a été suivi deux jours plus tard par un vol de 747-8 Freighter de Boeing en provenance de Seattle, qui a été le premier avion commercial à traverser l'Atlantique avec tous ses moteurs alimentés en biocarburant, également à base de cameline, dont plus de 50% des acides gras sont polyinsaturés. Toutefois, il n'existe pas d'huile correspondant à ces critères et provenant de plantes de grande culture. La famille des *Cuphea*

s'avérerait être une bonne candidate mais ces plantes doivent être au préalable domestiquées et leurs propriétés agronomiques évaluées.

Enfin, il faut signaler que les parties aériennes des plantes sont recouvertes de cires dont les composés majeurs sont des alcanes à la chaîne carbonée contenant en moyenne 30 carbones. Les cires extraites de la biomasse végétale pourraient constituer une source de matière première non négligeable dans les processus de cracking afin d'obtenir des alcanes à chaîne plus courte. L'étude des lipides de surface (cires, cutine et subérine) apparaît ainsi comme un domaine novateur pour repérer de nouveaux lipides qui devraient s'avérer stratégiques dans le domaine de la synthèse des bio-composites et permettre ainsi une meilleure valorisation de la plante entière.

La production d'acides gras inhabituels par des plantes ou/et algues transgéniques :

L'état de nos connaissances montre que les végétaux sont capables de synthétiser une grande variété d'acides gras (environ 300). Cette biodiversité a été utilisée comme ressource génétique pour générer des plantes transgéniques principalement chez *A. thaliana* mais aussi chez le colza et le soja dont la biosynthèse des lipides des graines était modifiée. L'ensemble de ces travaux a montré la faisabilité d'une telle approche, tout en définissant également les limites. En effet, hormis le colza « laurate » généré par Monsanto dont le taux d'acide laurique (60%) est proche de celui de l'huile de palmiste, les autres plantes transgéniques obtenues présentent des taux d'acide gras désiré bien moins élevés que ceux des plantes non domestiquées synthétisant ces mêmes acides gras. Un certain nombre d'étapes limitantes ont été identifiées : estérification de la position médiane du glycérol, spécificité et sélectivité des enzymes impliquées, voies métaboliques différentes pour les acides gras inhabituels, importance du pool d'acyl-CoAs et des flux métaboliques, méconnaissance de la régulation de la synthèse et du stockage des lipides de réserve.

La stratégie OGM reste prometteuse mais demande un très large effort de recherche afin de parfaire nos connaissances. Un inventaire précis des ressources, organisé sous forme de base de données renseignée (plantes, molécules, données agronomiques et bibliographiques, propriétés industrielles...) constituerait un outil stratégique malheureusement non disponible de manière ouverte à ce jour. Il est impératif d'élucider les voies de biosynthèse des lipides de la graine et de leur régulation (acides gras usuels *versus* acides inhabituels), les flux métaboliques (parties végétatives *versus* graines), les mécanismes d'accumulation des réserves (amylacées *versus* réserves lipidiques) et les mécanismes du remodelage des lipides (importance des acyltransférases), mécanismes qui restent encore largement incompris. Enfin, la plupart des informations concernant le métabolisme des lipides ont été obtenues jusqu'à présent essentiellement en utilisant la plante modèle *A. thaliana* ; il sera nécessaire à l'avenir de transposer ces résultats à des plantes de grande culture.

Les algues, une source alternative de production d'acides gras :

Certaines microalgues (oléagineuses) accumulent des quantités importantes de lipides de réserve (triglycérides) qui peuvent atteindre jusqu'à 60 à 70% de la biomasse algale. Compte tenu de la productivité surfacique élevée de ces espèces (4 à 5 fois plus que les céréales), la culture à grande échelle des microalgues représente une alternative crédible pour la production de biocarburants. La culture des microalgues présente en outre l'avantage de ne pas concurrencer les cultures à vocation alimentaire (utilisation de terres non-arables), de préserver les ressources en eau (recyclage de l'eau) et de permettre la fixation du CO₂ issu d'installations industrielles.

En pratique, les applications sont toutefois limitées par des verrous d'ordre biologique, par des coûts élevés des systèmes de culture et par la complexité des techniques d'extraction des lipides. Au niveau biologique, deux aspects semblent particulièrement importants à aborder pour proposer des voies d'amélioration de la productivité de ces différentes espèces d'algues. D'une part, il est nécessaire de développer une biologie intégrative des systèmes sur des algues modèles en vue de mieux comprendre les mécanismes de régulation aboutissant au processus de mise en réserve, d'identifier les mécanismes de régulation impliqués dans la répartition entre les différents types de réserve (polysaccharides/triglycérides) et de mieux appréhender les mécanismes de régulation contrôlant la longueur et le degré d'insaturation des chaînes d'acides gras. Le séquençage récent de plusieurs génomes de microalgues et de diatomées (*Chlamydomonas reinhardtii*, *Chlorella vulgaris*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Ostreococcus tauri*...) et

l'existence d'outils génétiques puissants chez certaines espèces (*C. reinhardtii*, *O. tauri*) permettent d'envisager le développement de telles approches. D'autre part, l'exploration systématique de la biodiversité des microalgues paraît intéressante pour identifier de nouvelles espèces présentant des spécificités du métabolisme lipidique. Signalons enfin, qu'à la différence des végétaux qui accumulent les composés de réserve dans des organes spécifiques (la graine dans le cas des lipides), les microalgues procèdent à un stockage intracellulaire. Elles constituent à ce titre un modèle végétal qui permet d'envisager un contrôle *a priori* simplifié des processus de mise en réserve. Les micro algues, utilisées actuellement essentiellement pour la production de molécules à haute valeur ajoutée, pourraient ainsi constituer un modèle alternatif et complémentaire des végétaux pour produire des acides gras dont on peut contrôler relativement aisément la longueur des chaînes carbonées et le degré d'insaturation pour la production de biocarburants ou de synthons pour la chimie.

3) Les lignines sont les biopolymères les plus abondants après la cellulose et constituent 25% de la biomasse terrestre. La synthèse des lignines résulte de la polymérisation d'unités monomériques, les alcools cinnamyliques, souvent appelés monolignols.

Au niveau technologique, les lignines peuvent être considérées tout d'abord comme des coproduits résultant d'un prétraitement ou d'une transformation des lignocelluloses pour l'utilisation principale de la cellulose. Dans ce cas, il s'agit de réduire la quantité de lignines : stratégie classiquement évoquée pour des usages industriels (pâte à papier, bioéthanol). Ce qui implique, d'une part la sélection de plantes peu lignifiées : exemple sélection classique de clones d'eucalyptus possédant peu de lignines, au Brésil, et d'autre part, l'utilisation de mutants naturels, mutants-EMS, ADN-T, stratégies OGM antisens, RNAi, miRNA chez lesquels une étape de la voie de biosynthèse des lignines, essentiellement la voie de la biosynthèse des monolignols, les précurseurs des lignines, est bloquée. De nombreux travaux pour cet objectif sont engagés aux États-Unis et en Europe : Programmes européens passés (OPLIGE, TIMBER) ou en cours (RENEWALL, ENERGYPOPLAR, DISCO, AQUATERRE...). Aujourd'hui, environ un million de tonnes par an de lignines industrielles sont produites dans le monde à partir des procédés papetiers traditionnels pour des usages autres que la production d'énergie. La réorientation de certaines papeteries vers l'obtention de produits diversifiés à haute valeur ajoutée, dans un contexte de bio-raffinerie, conduit aujourd'hui à considérer les lignines industrielles comme une source de molécules fonctionnelles, de synthons (entités moléculaires mises en œuvre dans la synthèse d'une molécule afin d'y introduire un motif structural donné), pour la chimie des matériaux, et non plus comme de simples co-produits industriels à éliminer.

Les lignines peuvent être considérées également comme des produits d'intérêt à part entière pour la chimie verte. En raison de la nature des liaisons inter-monomères et de la présence de liaisons hydrogène intermoléculaires, les lignines sont des polymères peu flexibles qu'il faut modifier chimiquement pour élaborer des matériaux thermoplastiques substitués des polyoléfines (polyéthylène et polypropylène). La présence de groupements fonctionnels tels que les phénols assurent, en outre, à ces composés une aptitude à la réticulation adaptée à l'obtention d'adhésifs et de résines thermodurcissables. Elles se substituent ainsi au phénol, composé coûteux et toxique, dans les adhésifs des panneaux de contreplaqué par exemple. Leur aptitude à la réticulation est également un atout pour développer des matériaux innovants. Ainsi, les lignines et leurs dérivés peuvent contribuer à la formation de la matrice polymère, que ce polymère soit thermodurcissable ou thermoplastique. Une autre stratégie, consiste à utiliser les lignines comme additif fonctionnel dans les matériaux. Il s'agit d'exploiter les propriétés anti-oxydantes, antimicrobiennes ou encore hydrophobantes de leurs constituants pour améliorer les performances de matériaux biodégradables ou remplacer des additifs synthétiques toxiques. Ces propriétés sont dépendantes de paramètres structuraux tels que la distribution de masse et la teneur en groupements phénoliques libres des lignines. Il est possible de les moduler en ajustant les paramètres technologiques du procédé d'isolement ou en modifiant les lignines *a posteriori* par voie chimique ou, de préférence, enzymatique.

Les chimistes souhaitent obtenir également des oligomères de lignols, des oligolignols, des composés aromatiques simples, élémentaires, peu ramifiés et peu substitués, destinés à faire des polymères à façon. Ces composés aromatiques, facilement extractibles et plus aisés à purifier, pourraient alors être utilisés, après

modifications chimiques, dans la synthèse de matériaux thermodurcissables et l'élaboration de matrices pour composites, en remplaçant des substances à base de phénols, généralement plus toxiques. On pourrait alors envisager de créer des plantes synthétisant ces composés de base de la chimie des lignines et les accumulant, par exemple dans des plantes hyper-accumulatrices d'unités élémentaires des lignines. Pour faciliter l'extraction de ces oligomères, il est nécessaire de les adresser dans des compartiments subcellulaires de type vacuoles ou de les produire dans le cytoplasme (sans polymérisation dans la paroi). De telles plantes pourraient être cultivées sur des sols impropres à la culture de plantes alimentaires. Les plantes C4 pérennes constitueraient d'excellents candidats à ce type de production. Il serait également envisageable de faire produire ces oligolignols élémentaires par des organismes unicellulaires comme les microalgues qui ne les produisent pas naturellement jusqu'alors. Les stratégies d'études à envisager dans cette optique seraient une meilleure connaissance des étapes de transport et de polymérisation des monolignols, de la régulation transcriptionnelle de leur synthèse (possibilité de déréguler pour produire de la lignine dans d'autres tissus, stockage dans les vacuoles) et de leur induction suite à des modifications de l'environnement (contraintes agronomiques conduisant à une hyperlignification des plantes).

Quels types de plantes sélectionner alors?

Excepté quelques plantes : coton, chanvre, lin, pastel, garance, oeillette, les plantes de grande culture plus généralement n'ont pas été jusqu'à présent sélectionnées pour produire des produits non alimentaires utilisables par les chimistes. Tout un travail de sélection classique reste à faire pour obtenir des plantes productrices de molécules d'intérêt pour la chimie verte. Il est nécessaire de distinguer les productions de masse, pour des usages industriels par des plantes de grande culture, des productions de molécules à haute valeur ajoutée par des plantes cultivées en milieux artificiels et contrôlés (chambres de culture, serres).

Dans un premier temps, il est nécessaire de faire un inventaire des plantes productrices de molécules d'intérêt. Les banques de données sur les productions végétales sont des sources d'information à consulter systématiquement. Il ne faut pas négliger les informations provenant du Muséum et les herbiers anciens qui peuvent être examinés dans ces institutions. Les Collègues du Muséum ont sans doute connaissance de plantes aux caractéristiques particulières pour la production de molécules diverses. Un phénotypage systématique de ces plantes pourrait suivre, accompagné d'un cahier des charges adapté.

Dans un deuxième temps, il est nécessaire d'améliorer génétiquement les plantes sauvages aux productions intéressantes et de déterminer des itinéraires techniques appropriés. Cet effort de domestication de plantes sauvages peut être long et risqué. Le miscanthus et le switchgrass, plantes grandes productrices de biomasse (20 à 30 tonnes/ha), sont déjà cultivés dans nos régions tempérées. Le jatropha, le jojoba, le cuphéa, sont potentiellement des végétaux qui pourraient permettre la conquête de nouveaux territoires agricoles, en particulier dans des zones arides et salines. Pour ce qui concerne les algues, l'effort de domestication est également essentiel, celui-ci pourrait, dans certains cas, être accéléré par le temps de génération court de ce type d'organisme.

Enfin, il est nécessaire d'envisager également le transfert de gènes de voies métaboliques originales et d'intérêt dans des plantes de grande culture de nos régions, connues pour leur productivité élevée. Si, théoriquement, quasiment tout est possible dans ce domaine, les résultats obtenus au champ laissent, comme nous l'avons déjà signalé, encore perplexe, les rendements étant souvent très faibles. Tous les espoirs sont cependant permis !

Finalement, considérant cette dernière étape, nous constatons que si nous avons en gros connaissance des gènes impliqués dans les voies de synthèse de la majorité des constituants intéressants, nous connaissons mal les systèmes de régulation de ces voies métaboliques et de mise en place de ces constituants dans les systèmes biologiques plus complexes, organites cellulaires (cytosol, vacuole, chloroplaste, réticulum, corps lipidiques, etc.), et paroi.

De plus, nous observons que cette méconnaissance des systèmes de régulation des grandes voies métaboliques *in planta* nous interdit pour le moment toute modification des rapports amidon/protéines,

amidon/lipides, amylose/amylopectine, cellulose/ lignine, etc. Il faut rappeler également qu'il est souvent observé que l'accumulation anormale de certains produits (lignines, flavonoïdes) peut inhiber la croissance et le développement des plantes qui les produisent. La notion d'organe est enfin importante à prendre en compte : potentialité des organes à stocker, sans risque pour la plante, des molécules d'intérêt pour la chimie et possibilité de récolter facilement ces organes.

Quelles sont les voies de recherche ?

– Produire en quantité des bioproduits aux caractéristiques recherchées par l'industrie, concentrés dans des organes facilement récoltables (graines, feuilles) et facilement extractibles sans détérioration. Il est nécessaire d'assurer une régularité dans les rendements, de réduire l'hétérogénéité intra-spécifique et intra-génotypique des molécules stockées dans des organes récoltables, en sélectionnant les constituants exprimés sur une base structurale et techno-fonctionnelle. Certaines techniques de modifications des bioproduits pourraient être revues pour répondre aux exigences des biotechnologies blanches et de la chimie verte, par exemple passage de modifications chimiques à des modifications enzymatiques (acylation de peptides dérivés des albumines du colza ou du tournesol, fonctionnalisation de peptides dérivés du gluten). Certaines techniques de fractionnement de la matière première devraient être reconsidérées pour préserver les structures et les fonctionnalités des bioproduits et faciliter leur valorisation ultérieure pour des usages techniques ; c'est en particulier le cas des fractions « protéines de réserve » des graines oléagineuses qui sont difficilement exploitables à partir des classiques tourteaux d'huilerie. Cette question doit être traitée en liaison avec l'amélioration de la fractionnabilité des graines.

– Recherche de bioproduits à finalité industrielle pour des usages de masse, en intégrant des contraintes particulières à cette sortie, notamment les compositions et structures spécifiques, le rendement en ces bioproduits et leur récupération par des techniques simples, propres et peu coûteuses et respectant les co-produits. En accompagnement de ces recherches, il faut développer des études de design *de novo* ou biomimétique (molécules fondées en partie sur des structures biologiques), de modélisation et de caractérisation structurale et fonctionnelle des polypeptides, guidées par une démarche d'ingénierie inverse (activité qui consiste à étudier un objet pour en déterminer le fonctionnement interne ou la méthode de fabrication).

– On peut aussi envisager de faire synthétiser par les plantes des molécules simples que l'on peut transformer ensuite par la chimie classique et la chimie blanche (utilisation des enzymes et des microorganismes, pour les fermentations, les hydrolyses, les conversions de toute sorte). Dans certains cas, concernant les acides gras par exemple, ne serait-il pas préférable de faire synthétiser par les plantes des acides gras courants, produits à profusion par les plantes de grande culture, et de les transformer ensuite, que de s'évertuer à cultiver des plantes exotiques difficiles à acclimater dans nos régions et peu productives, ou de transférer des gènes de voies métaboliques très rares dans des plantes courantes et de s'exposer à des échecs cuisants au niveau productivité ? N'y aurait-il pas opportunité à produire l'acide gras « minimal » et à le « processer » ensuite pour obtenir des structures intéressantes ? Il en est de même pour les lignines où la production de monolignols élémentaires serait suffisante pour la chimie de ce type de produits. Toutefois, les plantes ne sont-elles pas encore meilleures chimistes que les hommes ?

Finalement, nous avons donc besoin d'acquérir encore de nombreuses connaissances sur les voies de synthèse de certaines molécules, sur leur stockage et leur effet en retour sur les grandes fonctions physiologiques de croissance et de développement des plantes. Nous avons également à développer nos connaissances sur la mise en place des grandes structures cellulaires, parois, fibres, organes de stockage (oléosomes). Il y a encore une grande ignorance entre l'expression des gènes et la mise en place des structures macromoléculaires dans un organe donné. Poursuivons la recherche fondamentale pour mieux comprendre et maîtriser les systèmes métaboliques dans un environnement donné, et à des périodes précises du développement des plantes.

Produire de l'énergie, des molécules et des matériaux à partir des ressources agricoles non alimentaires constitue un enjeu majeur dans un contexte de développement durable.

Les plantes sont des usines chimiques extraordinaires, capables de synthétiser toutes les molécules dont nous avons besoin. Toutefois, dans la pratique, le problème est plus complexe qu'il n'y paraît car les rendements obtenus jusqu'à présent ne sont pas toujours compatibles avec les exigences économiques des années à venir. Les nouvelles technologies apporteront incontestablement leur appui à cette nouvelle entreprise mais beaucoup de progrès restent encore à faire et nous avons besoin d'une recherche efficace pour résoudre ces difficultés. De plus, des changements profonds de comportement de notre société, du monde agricole et industriel, sont nécessaires, en tenant compte des contraintes environnementales et sociétales. Au niveau mondial, le défi d'une économie verte est d'améliorer le niveau de vie des pays en développement en évitant d'augmenter leur empreinte écologique, tout en maintenant simultanément le niveau de vie des pays développés et en diminuant leur empreinte écologique.

La France a toutefois le potentiel intellectuel, agricole, et industriel pour relever les défis de ces rencontres de l'agriculture et de la chimie. Il est nécessaire de valoriser ce potentiel, c'est une question de courage politique, économique et sociétal.

Synthon : portion de molécule qui évoque un précurseur accessible et suggère par suite certaines voies de synthèse.

Je tiens à remercier chaleureusement Messieurs Thierry Chardot, Christian Ferault et Jean-Claude Mounolou pour la relecture de ce manuscrit et leurs commentaires et suggestions. Je remercie également Paul Colonna qui m'a initié aux technologies végétales.

Documents à consulter

- (1) ARNAUD Laurent, BOYEUX Bernard, PHILIPPE Edouard, CANTONI Jean et TROUVÉ Jean-Paul, 12/01/2011. – Séance hebdomadaire Académie d'Agriculture de France sur les Nouvelles utilisations des plantes à fibres, **96**, 1.
- (2) BOURNAY Laurent, DOHY Maurice, SABIN Jean-Claude, 11/03/09. – Séance hebdomadaire Académie d'Agriculture de France sur les Biocarburants de seconde génération, **96**, 2.
- (3) COLONNA Paul, 2006. – La Chimie Verte, Éditions TEC&DOC, Lavoisier, 532 pp.
- (4) HÖFTE Herman, TAYEB Jean, FORSLUND Agneta, 10/03/2010. – Séance hebdomadaire Académie d'Agriculture de France sur les Biocarburants de seconde génération, **96**, 2.
- (5) LAPIERRE Catherine, JOUANIN Lise, BAUMBERGER Stéphanie, 17/02/2010. – Séance hebdomadaire Académie d'Agriculture de France sur les Lignines, **96**, 1.
- (6) MOROT-GAUDRY Jean-François *et al.*, 2009. – Rapport ARPVéga, Tâche 5, 28 pp.

[La présentation Power Point est à consulter sur le site de l'Académie, rubrique Séances, année en cours]

INSTALLATION DU BUREAU POUR L'ANNÉE 2012

Discours de Monsieur Jean-François COLOMER

Nouveau Président¹

Monsieur le Ministre,
Messieurs les Secrétaire et Trésorier perpétuels,
Mon cher Président Jean-François Morot-Gaudry,
Chers Confrères, chères Consœurs, chers Amis.

Je vais tenter devant vous d'analyser les relations entre information, communication, science et technologie.

Les Journalistes disent souvent qu'il ne se passe rien les années électorales. 2012 pourrait bien infirmer cette opinion. Il y a en effet la crise économique et financière, le débat sur le changement climatique, le malaise sociétal, les blocages sur les OGM, la globalisation de la communication et bien d'autres sujets de préoccupation en France, en Europe et dans le monde. Ils nous imposent d'imaginer des nouveaux modes de débat, de gouvernance, de management de la connaissance et de l'action dans un monde où les progrès des sciences et des technologies sont et seront encore plus considérables. Ils peuvent nous aider à résoudre nombre de problèmes. En premier lieu aller à l'encontre du pessimisme généralisé des Français mesuré par les enquêtes d'opinion (cet outil moderne et parfois contesté de mesure de l'information et de la communication). Ainsi, ces sondages indiquent que seulement 33 % de la population affiche une confiance dans l'avenir contre 72 % au Brésil et 92 % en Inde. Le futur fait peur en Europe et rêver dans les pays en développement. Notre société a du mal à accepter l'incertitude propre à toute démarche scientifique. Elle opte volontiers pour les certitudes énoncées par des experts autoproclamés qui s'affichent dans les médias et au service de certaines associations et groupes de pression.

Face à cette situation, encore nous faut-il être en capacité de capitaliser l'information scientifique et technique, et d'inventer de nouvelles manières de dire la science à l'opinion publique. C'est ce qu'a préconisé Étienne Klein le 7 décembre dernier lors d'un colloque à l'Hôtel de Lassay : « Vérités scientifiques et démocratie ». Un discours à destination aussi des agriculteurs pour lesquels il faut ouvrir des perspectives nouvelles, et auxquels il faut redonner confiance. Avec la mondialisation, la communication change en effet de périmètre. Sylvie Goulard, députée européenne nous a invités, lors de notre séance du 250^e anniversaire au Palais du Luxembourg, à parier sur des structures politiques plus sophistiquées ; elles mêmes précédées par des débats dans lesquels les opinions publiques se reconnaissent. Vaste programme !

Cette mission de service public, je vous le rappelle, figure dans les statuts de notre Compagnie. Elle a été réaffirmée par le décret présidentiel du 14 juin 1995 : je cite : « L'Académie veille au maintien d'un débat de qualité, conduit en langue française ; elle facilite le contact direct avec l'opinion publique ». C'est une des raisons, je pense, pour laquelle, dans une assemblée composée majoritairement de scientifiques, vous avez choisi, non sans audace, d'élire un ancien Journaliste à la tête de l'Académie d'Agriculture. L'information et la communication constituent en effet une science récente qui s'est développée simultanément à l'essor des biotechnologies et des sciences cognitives. Elles peuvent et doivent nous

¹ Président de l'Académie d'Agriculture de France, Président du Comité d'orientation de la Société des Agriculteurs de France, 8, rue d'Athènes, 75009 Paris.

permettre d'améliorer et de relancer le dialogue, pas toujours facile, entre science et démocratie. Elles sont sans doute la seule vraie révolution des cinquante dernières années par leur omniprésence, leur usage généralisé et le fait qu'elles sont de plus en plus inséparables des technologies. Comme le souligne Dominique Wolton dans « Sauver la communication » : « Avec la mondialisation, la communication change de statut. Elle n'est plus physique, elle est de moins en moins un dispositif technique, elle est l'expression de la symbolisation permettant le fonctionnement des sociétés ouvertes. Elle est de moins en moins dans les outils et les services omniprésents. Elle revendique un rôle de médiation, de tiers lien, d'interface, autrement dit de passage de la transmission à la médiation...et de l'imaginaire dans un monde saturé de performances, d'interactivités, de services, de rationalité ». Régis Debray va encore plus loin en proposant une nouvelle discipline, la « médiologie », autrement dit : quand on met en ligne un dire, la façon de le dire et qui tient à le redire ?

Il me faut rappeler et souligner ici l'initiative de George Pedro, alors Secrétaire perpétuel de notre Compagnie, pour avoir mis en place un groupe « Communication » dont il m'a confié l'animation. Parallèlement, il a créé une délégation aux relations extérieures afin de développer l'image et valoriser les travaux de l'Académie dans les médias et auprès de notre environnement professionnel. Il nous reste encore beaucoup de chemin à faire en prenant exemple sur nos grands anciens du 19^e et du début du 20^e siècle comme Henri Hitier, vingt ans Secrétaire perpétuel. Ces derniers étaient tout à la fois des scientifiques, des enseignants et des hommes de communication, un peu sur le modèle de Claude Allègre, ici présent !

Mais, me direz-vous, comment situer et qualifier l'information et la communication ? L'information est essentiellement liée au message. Il y a l'information « presse » en relation avec les actualités ; l'information « service » articulée autour des nouveaux médias et de la publicité ; l'information « loisirs » centrée sur les jeux et l'interactivité ; l'information militante pour illustrer des combats politiques ou sociaux comme cela est actuellement le cas au Moyen-Orient. Mais il y a surtout ce que l'on appelle l'information de référence qui nous intéresse au premier chef, à savoir les banques de données qui nécessitent un minimum de connaissances et qui ne sont pas sans poser quelques problèmes lorsque l'on consulte par exemple Wikipédia. Les sciences de la communication et de l'information, je vous l'ai dit, sont des sciences jeunes. Selon le philosophe Jean-Pierre Dupuy et le neurophysiologiste Jean-Didier Vincent, elles entrent en convergence, grâce aux capacités informatiques, avec les nanotechnologies qui permettent d'agir sur l'infiniment petit, les sciences du cerveau, les biotechnologies. Leurs interactions vont encore multiplier leur puissance avec le risque de provoquer des blocages politiques et sociétaux. Mais, comme le rappelle Dominique Wolton, elles ont un objectif plus large que les techniques car la communication est d'abord une réalité culturelle et sociale qui permet les contacts entre les hommes et les sociétés. D'où l'importance de l'étude des inter-relations entre les émetteurs, les messages et les récepteurs. Et là, interviennent la philosophie, la linguistique, la psychologie sociale, l'histoire, l'anthropologie... sans oublier l'éthique. Et cela dans le but de faire dialoguer le chercheur, l'ingénieur, le technicien, le commerçant, le politique... et l'homme de la rue.

Alors, comment faire progresser les choses ?

Il convient au préalable de poser le postulat que la libre communication de pensée et d'opinion est un des droits les plus précieux de l'Homme, comme cela est rappelé dans la Déclaration des droits de l'Homme et du Citoyen. Au point que, sous forme de boutade, Thomas Jefferson, qui a été un membre illustre de l'Académie et le rédacteur de la Constitution des États-Unis d'Amérique, s'est permis de dire, je cite : « S'il m'était laissé de choisir si nous devons avoir un gouvernement sans journaux ou des journaux sans gouvernement, je n'hésiterais pas un instant ». Je dirais « CQFD » compte tenu de ce qui s'est passé depuis 18 mois dans le royaume de Belgique !

Il faut également prendre en compte, comme l'avance le sociologue Erik Neveu, « Qu'un discours vrai ou scientifique ne suffit pas pour produire des effets, il faut qu'il soit vraisemblable et compatible avec un horizon d'attente sociale et non par la seule force des arguments ». Le scientifique doit se positionner en quelque sorte comme un « montreur de communication ». Ainsi Pasteur, avec l'invention du microbe invisible et appuyé en cela par le mouvement hygiéniste du 19^e siècle, a-t-il apporté la clé de l'énigme posée

à l'opinion publique. La société était à cette époque inquiète de l'impuissance du progrès économique à résoudre les problèmes de santé publique et de sécurité sanitaire des aliments.

Il va falloir, pour sortir de la crise, et ouvrir de nouveaux horizons aux agriculteurs et plus généralement à tous les acteurs qui nous concernent : miser tout à la fois sur les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) ; sur les nouvelles technologies de l'énergie afin de répondre aux défis de l'environnement ; et sur les nouvelles technologies de l'agroalimentaire afin de nourrir demain autour de 9 milliards d'individus sur Terre. Trois mots sont la signature de notre Compagnie « Agriculture, Alimentation, Environnement ». En la matière, nous avons du retard sur l'Allemagne qui nous a pris la première place d'exportateur dans le secteur agroalimentaire. Nous allons devoir, à l'Académie, nous positionner comme une « Think tank » (un laboratoire d'idées), car notre monde est dominé par les réseaux d'échanges entre chercheurs, politiques, leaders d'opinion, acteurs économiques. Nous avons à jouer un rôle déterminant par l'émission de comparaisons, d'analyses (y compris par des revues de presse pour comprendre pourquoi certaines informations sont mal passées), d'expertises et de propositions. C'est l'objet de nos groupes de réflexion thématiques comme ceux sur les abeilles, l'agriculture biologique ou la PAC, mais aussi par l'organisation de « Controverses » comme nous l'avons fait pour le bois et la forêt. C'est également le cas des séances communes de référence organisées avec l'Académie de Médecine sur le lait, les œufs ou plus récemment la viande. Pour dynamiser ces séances nous pourrions envisager une co-animation entre le président et le responsable de la réunion comme cela a été le cas, avec succès, lors de la séance du 250^e anniversaire à l'Académie des Sciences grâce à Dominique Job.

De la même façon, il faut remonter aux sources de notre Académie et retisser des liens avec nos Confrères dans les régions et à l'étranger afin de faire remonter, à bénéfice réciproque, de l'information économique, technologique et scientifique. Un premier colloque décentralisé va se tenir en mai à Toulouse, en liaison avec les autorités locales et régionales. Pour aller plus avant, nous avons en projet d'investir matériellement afin d'être en mesure de transmettre nos séances en vidéo ainsi que sur notre site Internet. Cela devrait renforcer les liens d'appartenance à l'Académie de nos membres en région et à l'étranger. Nous éditons déjà une lettre trimestrielle de liaison et d'opinion. Une lettre électronique mensuelle supplémentaire d'informations synthétiques est certainement à envisager sur le modèle de celle de l'Académie de Médecine. Il serait opportun aussi d'organiser, à l'occasion d'une séance libre au second semestre, une réception officielle des nouveaux membres élus avec la remise d'un parchemin ou d'une médaille, comme à l'Académie des Sciences. Ce serait l'occasion de rappeler à tout nouveau membre, qu'au delà de la distinction académique, il s'engage à investir du temps et de la matière grise au service de la Compagnie. Tout cela induit un travail de longue haleine qui va bien au-delà du mandat annuel d'un Président et d'un Bureau, mais il y va du futur de notre Académie.

Plus que jamais, nous avons le devoir, dans cette économie qualifiée de « quaternaire » par le philosophe Michel Serres, de nous investir dans le transfert de connaissances, de répondre aux interpellations des politiques, des consommateurs et de l'opinion publique. Cela passe par la formulation d'un langage accessible au plus grand nombre et *via* les outils de la communication moderne (Smartphone, tablettes, liseuses et j'en passe). Des appendices qui sont de plus en plus orientés sur Internet vers les services ou l'animation de communautés sous forme de forums. Sans oublier que la contrepartie de la mobilité c'est la centralisation de l'information.

Au final, en cette année d'élections du Président de la République et à l'Assemblée nationale, mais aussi d'un nouveau Secrétaire perpétuel à l'Académie, c'est à une réflexion sur le pouvoir que je vous propose de nous engager, mais aussi sur la régulation, voire le contrôle de l'information et de la communication. Qui va demain transmettre le savoir, et à qui le transmettre ? Comment allons-nous nous positionner par rapport aux médias. Ces derniers, selon Michel Serres dans un discours sur « Les nouveaux défis de l'Éducation » sous la Coupole, le 1^{er} mars 2011 : « ... se sont saisis de la fonction d'enseignement au profit d'une société du spectacle réduisant chez les jeunes générations la durée des images à sept secondes et le temps des réponses aux questions à quinze secondes. Ces jeunes habitent le virtuel. Ils ne connaissent, ni n'intègrent, ni ne synthétisent, comme leurs ascendants qu'en manipulant plusieurs informations à la fois. Ils n'habitent plus le même espace ». C'est le cas d'un de mes petits-fils ici présent. Et notre philosophe

s'interroge face à la transmission du savoir et aux mutations en cours. Sans doute convient-il, selon lui, « d'inventer encore d'inimaginables nouveautés ». Mais aussi, comme nous y invitent Jean-Claude Seys et Dominique Lecourt de la fondation Diderot à « Retrouver le sens du progrès ». J'ajouterai, donner du sens au progrès, comme cela a été discuté ce matin même lors de la réunion de notre Commission académique. Nous allons tenter en 2012 de donner forme à ce projet ! Je vous remercie de votre attention.

INTERVENTION DE MONSIEUR CLAUDE ALLÈGRE

Ancien Ministre

Je remercie le Président François **Colomer** pour son aimable présentation. J'ai effectivement occupé diverses fonctions administratives ou politiques, mais mon activité principale à laquelle je suis le plus attaché est celle de scientifique. C'est celle que j'ai reprise après mon activité ministérielle alors que s'offraient diverses possibilités de carrières politiques.

Récemment, j'ai pris part à une polémique qui, hélas, mêle trop la science avec la politique, à savoir le débat sur le réchauffement climatique soi-disant provoqué par les activités humaines.

Ma position reste sur ce sujet inchangée : « je ne crois pas qu'il soit possible de prévoir l'évolution du climat dans un siècle et les causes de ses fluctuations restent pour moi un sujet de recherches ».

Ceci étant précisé, je ne vais pas vous parler du climat, ni encore moins de questions agronomiques ou agricoles, où vos compétences sont bien plus grandes que les miennes, mais d'un sujet qui vous concerne et que je connais bien à savoir la question de l'eau. J'ai en effet passé une partie importante de mon activité scientifique récente à étudier la chimie des fleuves et des processus d'érosion, et leurs fluctuations dans le temps et l'espace.

C'est un problème essentiel pour l'Humanité et pour l'agriculture et c'est un problème tragique et qui risque de s'aggraver. On estime à 1,5 milliard les individus aujourd'hui soumis au stress hydrique. Et ce chiffre augmente, hélas, avec la croissance démographique.

Parler de la disponibilité moyenne de l'eau sur Terre est sans intérêt. Il en est de même pour la densité de population : que représente la moyenne par rapport à la croissance dans les pays arabes et les pays en développement ? L'usage domestique de l'eau consomme 100 litres par jour et par personne en Afrique, 200 en Asie, 400 en Europe et 800 aux États-Unis.

Et pour l'eau à usage agricole, comment se répartit-elle entre pluies et pompage ? En Europe, les pluies fournissent 420 km³ et 200 km³ sont pompés, en Afrique les pluies apportent 700 km³ contre 100 pour le pompage et aux États-Unis les apports des pluies sont équivalents aux prélèvements par pompage.

L'industrie est aussi un fort consommateur d'eau : 400 millions de km³ aux États-Unis mais seulement 32 en Afrique et encore s'agit-il là essentiellement de l'industrie pétrolière d'origine étrangère.

Au début du siècle, seulement 2 % des eaux des fleuves étaient prélevés, aujourd'hui c'est 12 % et ce sera probablement 40 % en 2050.

Prenons l'exemple de la mer d'Aral. Elle a frôlé l'assèchement à cause des pompages en amont dans le Sy et l'Amou Daria. Heureusement elle se réalimente progressivement grâce aux mesures draconiennes qui ont été prises.

Ce problème du prélèvement de l'eau est une source de conflit permanent : par exemple dans le bassin du Tigre et de l'Euphrate avec le pompage turc en amont, ou encore la question du partage des eaux du Jourdain.

Même aux États-Unis, des conflits existent comme entre les villes d'Austin et de San Antonio, les habitants de San Antonio voulant détourner à leur profit une rivière au détriment d'Austin. Le fleuve Colorado provoque aussi des tensions entre États.

En Afrique, on se demande si le Niger arrivera encore à la mer dans 100 ans. En Asie, le fleuve Jaune pose problème, etc.

Tous ces éléments, un peu pêle-mêle, pour rappeler la complexité du problème de l'eau.

Quelles solutions apporter aux besoins en eau?

1 – Conséquences sur l'agriculture

A cause des problèmes d'eau l'Afrique n'arrivera pas à satisfaire seule ses besoins alimentaires. Il serait donc logique d'intensifier la production agricole dans les régions où il pleut comme l'Europe et, avec des nuances, les États-Unis. Mais l'augmentation de la production dans les régions propices pose en corollaire l'organisation du transport des produits vers les régions déficitaires et plus encore la question de la solvabilité des pays qui en ont le plus besoin. Il faut inventer un commerce agricole intelligent, équitable et solidaire.

2 – L'eau est une matière première dont l'importance ne va cesser de croître.

Une mutation profonde de nos pratiques est en train d'émerger. Jusqu'ici on était dans une économie vectorielle (on jette après utilisation) ; il faut passer à la pratique du recyclage. Ainsi, par exemple, Singapour recycle déjà une grande partie de son eau. Nettoyage et recyclage de l'eau montent en importance. C'est un secteur où les opérateurs français sont parmi les meilleurs. Mais dans beaucoup de pays pauvres, l'eau est utilisée à des fins industrielles sans retenue : par exemple, par l'industrie pétrolière. Il faudrait imposer des mesures comme pour l'eau rejetée dans le Rhin, c'est-à-dire amener les pétroliers à régénérer l'eau qu'ils utilisent.

Cela conduit au problème très actuel du gaz de schistes. Une découverte récente a montré la présence de gaz dans les schistes. Pour libérer ce gaz il faut procéder à une fracturation hydraulique des roches. Où prendre l'eau ? Y en a-t-il assez ? La solution est une solution de gribouille, on a les techniques de recyclage et le problème de pollution des nappes phréatiques, souvent avancé, est un faux problème sauf en cas de fuites de tuyauteries, car cette opération se passerait à des centaines de mètres de profondeur quand les nappes phréatiques ne descendent pas plus bas que quelques dizaines de mètres.

3 – Stockage de l'eau et gestion dynamique des aquifères

Il serait intéressant de stocker les excès d'eau drainés par les fleuves vers la mer en hiver et au printemps en les injectant dans les nappes existantes ou même en créant des nappes. C'est une technique actuellement développée ailleurs qu'en France. C'est bien plus intéressant que la création de lacs artificiels, du type lacs collinaires, dont le développement est quasiment stoppé en France par la pression des lobbies écologistes. Dans les aquifères il n'y a pas de pertes par évaporation ni d'eutrophisation.

4 – Dessalement de l'eau de mer

La technique a fait des progrès spectaculaires et actuellement le prix de revient du m³ dessalé revient à 1,5 fois celui du pompage. Elle se développe surtout au Moyen-Orient où le coût de l'énergie n'est pas un facteur limitant mais aussi en Espagne comme à Barcelone où l'eau peut servir à des fins agricoles. On y viendra sans doute aussi en France dans certaines régions.

5 – Le transport

Il y a souvent de grandes distances entre le lieu où l'eau est disponible et celui où elle sera utilisée. En France, on connaît le cas de l'eau de la Durance transportée jusqu'à Marseille par un canal. Mais il est des régions où le relief ou les pertes potentielles par évaporation nécessitent un transport forcé par conduite. Il y a ainsi deux projets aux États-Unis pour amener vers la Californie et le Texas d'une part l'eau des grands lacs, d'autre part celle des Rocheuses. Ils se heurtent à la réticence des États à autoriser la traversée de leur territoire. Les mêmes problèmes pourraient arriver en France.

6 – Le problème des OGM

Je ne développerai pas ici ce sujet, mais comme vous le savez la transgénèse est une technique intéressante pour la création de variétés résistantes au stress hydrique ou au sel. Ce thème fera l'objet d'un prochain colloque que tiendra la fondation « Écologie d'avenir ».

Nous venons de passer en revue quelques problèmes posés par la gestion de l'eau utile. Mais il y a aussi **l'eau dangereuse**, dangereuse par ses excès provoquant des inondations ou son insuffisance conduisant à la sécheresse.

Les **inondations** sont de plus en plus fréquentes sans qu'il pleuve davantage en moyenne et, là où l'on a des inondations l'hiver, on trouvera de la sécheresse l'été.

Que faire contre les inondations ? Quelques mesures simples permettraient d'en limiter l'ampleur et les conséquences : pour lutter contre le ruissellement ne plus goudronner les chemins vicinaux, maintenir ou rétablir les haies ; bien entendu le bétonnage des périphéries urbaines n'arrange rien. À titre d'exemple, rien ne s'infiltré dans les sols autour de la ville de Nîmes d'où des inondations récurrentes; en corollaire limiter l'emploi des engrais qui contribuent à la dissolution des sols ; se souvenir de la vertu des petits barrages : l'érosion est remontante et c'est un moyen de l'éviter, mais c'est aussi le moyen de maintenir de l'humidité dans les parties montagneuses.

Comme nous venons de le voir, l'Homme à développé toutes les techniques qui devraient lui permettre de résoudre les questions posées par l'usage de l'eau. Sera-t-il capable de le faire ? Saura-t-il partager les fleuves ? Saura-t-il transporter l'eau pour lutter contre la sécheresse ? Pourra-t-il satisfaire les besoins de pays aux sols acides et pauvres ?

Voilà un débat à la fois scientifique et citoyen sur lequel votre Académie pourrait se pencher avec profit et compétence.

Je vous remercie.