

la lettre *n° 11 / printemps 2004*
de l'Académie des sciences



Les Plantes

Sommaire

Éditorial

Un comité national d'initiative et de proposition pour la recherche scientifique

Étienne Émile Baulieu

page 2

Dossier

Les plantes sont façonnées par la lumière

Michel Caboche

page 3

L'observation des fleurs

Christian Dumas

page 6

Endosymbioses racinaires

Jean Dénarié

page 7

Végétation et changements climatiques actuels

Paul Ozenda

page 9

Éloge de l'usine chimique végétale

Entretien avec Roland Douce par Paul Caro

page 10

Les aventures d'une pomme de terre

Christian Férault

page 12

Questions d'actualité

L'humanisation du génome

Philippe Vernier

page 14

Enseignements scientifiques et enseignements technologiques : des méconnaissances réciproques et trop de divergences...

Yves Matier

page 16

La vie des séances

Quelques remarques sur les difficultés de la lecture chez l'enfant

Pierre Buser

page 20

La vie de l'Académie

Prix scientifique 2004

Fondation Lefoulon-Delalande

Bourses de recherche 2004

page 21

Les relations internationales de l'Académie des sciences

André Capron

page 22

Élections de Membres

page 24

Éditorial

La recherche scientifique est une grande tradition de notre pays. Lavoisier, Pasteur, les Curie, les plus grands mathématiciens, nos biologistes novateurs en témoignent. Qui ne connaît l'importance de la recherche dans la culture et l'image nationales, la nécessité d'une université attentive et compétente dans le domaine scientifique, et l'action nécessaire d'institutions permettant d'obtenir les moyens et l'évaluation du travail scientifique ? Éducation, santé, industrie, agriculture, environnement, climat, sécurité civile et militaire sont autant de domaines qui évoquent la place centrale de la recherche et qui imposent des soins ininterrompus et efficaces à tous les niveaux et dans toutes les discipli-

à technologies émergentes comme les sciences du vivant (et leurs corrélats médicaux) et les nanotechnologies avec les bouleversements intellectuels, éthiques, et financiers qui en dépendent. Les données chiffrées sont là pour indiquer la diminution remarquable des citations des articles scientifiques publiés par nos laboratoires, l'insuffisance numérique et de qualité des brevets pris en France, le départ de scientifiques encore jeunes en pleine activité, formés en France et allant s'installer outre-atlantique, sans compter les plus jeunes, post-doctorants, qui restent à l'étranger. Très mal rétribués et souvent incapables de démontrer leur talent dans les conditions actuelles, les chercheurs qui restent sont désespérés ou en colère : le mouvement foudroyant et massif de janvier-février « Sauvons la recherche » l'a bien montré.

Les responsables des laboratoires ont manifesté très fortement leur détermination. Il reste à mettre en perspective leurs revendications immédiates. Je souhaite personnellement qu'un effort significatif soit fait des deux côtés. Nous avons, avec les représentants qualifiés du collectif « Sauvons la recherche », contribué à la constitution du « comité national d'initiative et de proposition pour la recherche scientifique ». Les diffé-

Un « comité national d'initiative et de proposition pour la recherche scientifique »

nes. Que la recherche ne soit pas « déléguée » sectoriellement, mais au contraire une priorité du gouvernement de la France semble une évidence politique ! Si dans les disciplines traditionnelles, dont certaines sont souvent peu coûteuses, nos chercheurs attestent toujours de l'éminence de notre tissu scientifique national, il n'en est pas de même quand on examine la situation de la recherche française dans des secteurs

La confiance n'est plus là. Ni celle des chercheurs dans les promesses qu'on leur a faites, même si celles-ci sont sincères et relativement importantes, ni celle des gouvernants qui souvent cèdent aux simplifications en accusant notre système de recherche d'immobilisme, d'inefficacité et pour tout dire de gâchis. Devant le blocage tel qu'il pouvait être constaté le vendredi 27 février, Édouard Brézin et moi avons eu l'occasion, le lendemain au cours d'un débat sur France Culture, de proposer publiquement une « médiation », à titre personnel. À l'évidence, nous étions conscients que nos situations respectives de président et de vice-président élus de l'Académie nous conféraient *ipso-facto*, au regard des autres scientifiques, du gouvernement, et de la « société civile », une légitimité que nous savions garantie par la compétence scientifique et morale de nos confrères. D'ailleurs dès le mardi suivant, un scrutin du Comité secret, nous accordait massivement une confiance qui nous a permis d'espérer le concours éclairé de nos consœurs et de nos confrères.

rentes composantes du « peuple scientifique » français y ont trouvé leur place avec l'accord de tous. Nous comptons sur l'aide promise pour le faire fonctionner : il s'agit de consulter et de donner publiquement la parole à tous, au cours d'« États Généraux » ou d'« Assises » de la recherche. Il s'agit aussi d'établir, dès cette année et avec vocation d'application immédiate, une orientation et une programmation à vocation pluriannuelle, les aspects budgétaires et organisationnels étant inclus.

Notre Académie s'offre ainsi comme garante de notre recherche. Sa contribution institutionnelle en élaboration depuis plusieurs mois dans le cadre du groupe « Science et Société » piloté par Jean-François Bach, sera présentée au cours des débats et des études qui commencent ■



par Étienne Émile Baulieu

Président de l'Académie des sciences, professeur honoraire au Collège de France.



Les plantes sont façonnées par la lumière



par Michel Caboche ¹

Les organismes photosynthétiques et les plantes en particulier jouent un rôle majeur dans la teneur de l'atmosphère en oxygène et en gaz carbonique. En outre les plantes, en colonisant les terres émergées depuis environ 470 millions d'années ont constitué une ressource renouvelable, mais incontournable d'aliments pour le règne animal qui s'est installé sur les continents, lui aussi, grâce à leur aide. L'homme, en développant l'agriculture et en exploitant les ressources de combustibles fossiles n'a fait qu'accroître cette dépendance à l'égard du règne végétal. La comparaison des génomes de plantes à ceux des animaux et de bactéries a confirmé la place singulière des plantes dans l'arbre de l'évolution.

De nombreux gènes intervenant dans les mécanismes de base de la cellule eucaryote s'y trouvent en bonne place (cyclines, enzymes de recombinaison, protéines impliquées dans la traduction, dans le fonctionnement du cytosquelette, etc...) confirmant une origine commune des eucaryotes animaux et végétaux. On décèle aussi dans les génomes des plantes les traces de l'endosymbiose de la cellule eucaryote primitive déjà pourvue d'une mitochondrie, avec une cyanobactérie capable de photosynthèse. Le génome des cyanobactéries actuelles comporte 3170 gènes. *Arabidopsis*, la plante modèle des végétalistes comporte plus de 4000 gènes présentant des similitudes de séquences avec les gènes cyanobactériens. Fait surprenant, un tout petit nombre de ces gènes (110) est retrouvé dans le génome chloroplastique issu du chromosome cyanobactérien, le reste des gènes ayant massivement migré dans le noyau de la cellule pour y rejoindre plus de 20000 autres gènes nucléaires. De cet héritage cyanobactérien sont issues les protéines impliquées dans la construction des photosystèmes, qui rendent les plantes capables d'utiliser l'énergie lumineuse et de fixer le carbone atmosphérique. De cet héritage proviennent aussi les systèmes de régulation dits « à deux composants », sorte de capteurs biologiques typiques des bactéries et parmi ces derniers un

¹ Correspondant de l'Académie des sciences, directeur de recherche à l'INRA, Versailles.

photorécepteur de type histidine kinase dont dérivent les phytochromes de plantes. Ces phytochromes jouent un rôle important dans l'adaptation des plantes à leur environnement, et en particulier dans la germination des graines de nombreuses espèces végétales.

La graine est une invention risquée de l'évolution. Chez de nombreux êtres pluricellulaires, l'embryogenèse initiée à la fécondation, se poursuit sans pause importante jusqu'à l'acquisition d'une certaine autonomie. Chez les plantes supérieures (ou spermatophytes), ce processus de développement est paradoxalement interrompu par la formation de la graine. En effet, qu'ils soient animaux ou végétaux, les embryons sont en général extrêmement fragiles. L'arrêt du développement embryonnaire nécessite donc une préparation spécifique pour assurer la viabilité de l'embryon dans la graine. Progressivement, l'embryon et les tissus qui l'entourent vont être le siège de modifications profondes (accumulation de substances osmoprotectrices, déshydratation, formation d'un tégument rigide protecteur, etc...). Ces modifications rendent la graine formée dormante, c'est-à-dire transitoirement bloquée dans sa germination, et capable de survie dans des conditions adverses pour une durée très longue, fréquemment de l'ordre de la décennie, parfois plusieurs siècles comme chez *Nelumbium*, espèce apparentée au nénuphar. Un régulateur de croissance, l'acide abscissique, joue un rôle déterminant dans l'acquisition de dormance et l'accumulation de réserves dans la graine. Des cultures d'embryons immatures traitées par l'acide abscissique expriment des protéines telles que les oléosines, impliquées dans le stockage de lipides, et qui sont typiquement accumulées au cours de la maturation de la graine *in planta*. Différentes protéines intervenant dans la transduction du signal ABA, en particulier la protéine ABI 3, sont aussi nécessaires à l'acquisition de dormance, leur inactivation induisant la viviparité (germination de la graine sur la plante mère). La protéine ABI 3 est un facteur de transcription. Deux autres protéines LEC 2 et FUS 3, de fonction apparentée à ABI 3 interagissent synergiquement avec ABI 3 pour contrôler l'expression d'un répertoire très étendu de gènes¹. Les protéines produites interviennent dans l'acquisition de la tolérance à la dessiccation, dans la protection des tissus contre l'oxygène et les radicaux libres, et dans l'accumulation de réserves lipidiques, protéiques ou amylacées, variables selon les espèces, mais nécessaires à la germination de la plantule. Ces réserves ont suscité l'intérêt du règne animal qui considère souvent la graine comme un garde-manger naturel. Il n'est donc pas éton-

nant de découvrir que de nombreuses graines accumulent aussi des toxines, des inhibiteurs de protéases, et des lectines pour se protéger des prédateurs.

De nombreux facteurs physiques modulent la levée de dormance de la graine et sa germination. Parmi ceux-ci l'environnement lumineux joue un rôle essentiel, non seulement dans l'initiation de la germination de la graine enfouie dans le sol, mais aussi dans l'émergence de la partie aérienne de la plantule au dessus du sol. Avant même de mettre en place son appareil photosynthétique, une plante est déjà sensible à la lumière. C'est l'intensité de la lumière, mais aussi la qualité du spectre lumineux, affectées par exemple par l'effet filtrant du couvert végétal environnant, qui vont modeler la croissance de la plantule, selon un processus dit de « photomorphogenèse ». Ce processus fait intervenir principalement trois classes de photorécepteurs. Les phytochromes² constituent une première classe, identifiée historiquement par l'analyse du spectre d'action de la lumière sur la germination des graines de laitue. Ils absorbent dans la partie rouge/rouge lointain du spectre lumineux et sont impliqués dans des réponses physiologiques à des fluences très faibles de lumière ($0,1 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, soit dix fois moins que le rayonnement de réflexion lunaire, ce qui explique en partie l'effet de la lune sur la germination de certaines graines). Le chromophore des phytochromes est une chaîne tétrapyrrole dont l'excitation à 666 nm provoque l'activation de la protéine à laquelle cette chaîne est attachée, induisant une cascade de phosphorylations activement étudiée. Outre leur rôle dans la germination, les phytochromes modulent l'élongation de la plantule et la mise en place de l'appareil photosynthétique qui se manifeste par le verdissement des cotylédons.

Une seconde classe de photorécepteurs, les cryptochromes³, interviennent aussi dans le processus d'élongation. Ils absorbent dans la partie bleue du spectre lumineux. Le cryptochrome, qui présente des similitudes de séquence avec les photolyases bactériennes et le

récepteur lumineux des champignons filamenteux, module avec le phytochrome l'élongation des cellules de l'hypocotyle ou de l'épicotyle des plantules, selon l'espèce étudiée. Ce processus d'élongation cellulaire en apparence simple (plus la plantule est exposée à la lumière, moins elle grandit et s'étiole) est en réalité d'une très grande complexité. Il intervient à tous les stades de développement de la plante ou des cellules s'allongent après s'être divisées, et affecte son architecture.

Une troisième classe de photorécepteur intervient dans le phénomène de phototropisme, c'est à dire l'orientation de la partie aérienne de la plante vers la source lumineuse, grâce à l'élongation différentielle des cellules de l'hypocotyle (processus déjà étudié par Darwin !). Ce troisième type de photorécepteur, activé aussi par la lumière bleue est une protéine kinase membranaire (NPH1), appelée phototropine⁴, dont le chromophore est une flavine. Ce photorécepteur régule par ailleurs le mouvement des chloroplastes dans la cellule en réponse à un éclairage intense. Le phytochrome et le cryptochrome, lorsqu'ils sont activés par la lumière inhibent l'élongation cellulaire. Les phototropines, au contraire, stimulent différenciellement l'élongation. Cette élongation différentielle fait intervenir en particulier l'auxine, un des principaux régulateurs de croissance végétaux, dérivé du tryptophane. Cette auxine est concentrée dans la zone d'élongation par un processus qui met en jeu les transporteurs d'efflux de l'auxine (protéine PIN). D'autres facteurs interviennent en aval des photorécepteurs dans l'élongation cellulaire. Les brassinostéroïdes, molécules identifiées il y a plus de 20 ans, se sont révélées très récemment jouer un rôle crucial dans les processus d'élongation aussi bien à la lumière qu'à l'obscurité par l'identification de mutants nains, défectifs pour la synthèse de brassinolide, étape finale de cette voie de biosynthèse. Le récepteur de cette classe de molécules (BR11) est une protéine membranaire comportant un domaine extracellulaire présentant une forte affinité pour le brassinolide. Une sérine-

thréonine kinase apparentée à *Shaggy* est un modulateur de l'action de ces molécules, dont le rôle semble restreint aux seuls processus d'élongation cellulaire. Une autre classe de régulateurs de croissance, les gibbérellines, sont aussi nécessaires aux processus d'élongation. Cependant les mutants qui ne synthétisent plus de gibbérellines sont non seulement nains, mais déficients pour de nombreux autres processus (induction florale et germination en particulier). L'activation des phytochromes par la lumière module la synthèse des gibbérellines, qui jouent ainsi le rôle de relais. A ce jour les récepteurs des gibbérellines restent à identifier. Ils interagissent probablement avec une protéine G hétérotrimérique dont le rôle est nécessaire à l'action des gibbérellines. Cependant la découverte de mutants dominants insensibles aux gibbérellines a permis d'identifier une famille de protéines, les protéines DELLA qui inhibent l'élongation cellulaire, et dont la dégradation par ubiquitinylation est induite par les gibbérellines. Les protéines DELLA fonctionnent comme répresseurs de la transcription de gènes intervenant dans l'élongation⁵. Elles ont un rôle déterminant dans la taille de la plante. Les blés semi nains qui ont contribué à la « révolution verte » chez lesquels une partie du carbone photosynthétique est déviée de la tige vers les graines sont aussi des mutants dominants, affectés dans une protéine DELLA. Une fonction encore plus centrale dans l'élongation cellulaire a été identifiée en caractérisant les mutants *tonneau*. Ces derniers ont un phénotype nain extrême. Celui-ci résulte de l'incapacité qu'ont les cellules à orienter la direction dans laquelle elles peuvent s'allonger. Ceci résulte de l'absence d'anneau de préprophase, réseau de microtubules qui se met en place en début de mitose et détermine à la fois la position du plan de division de la cellule, et la polarité d'élongation des cellules filles. Ces protéines TONNEAU interviennent donc dans le fonctionnement du cytosquelette au cours de la mitose. Comment se relie le fonctionnement de structures cellulaires telles que le cytosquelette ou la paroi et les signaux modulant l'élongation (auxine, gibbérellines et brassinostéroïdes) reste encore mystérieux. Il reste aussi à déterminer comment l'élasticité de la paroi cellulosique semi-rigide qui entoure la cellule végétale peut être modulée et associer une synthèse de cellulose *de novo* lors de l'allongement cellulaire. Des progrès récents importants ont été faits dans ce domaine. Une famille de protéines, les expansines, semble jouer un rôle clef, dépendant du pH, dans le processus d'assouplissement de la paroi. Par ailleurs, la famille des gènes de cellulose synthase, connue depuis peu, est activement caractérisée

et un précurseur inattendu, nécessaire à la synthèse de cellulose, le sitostérol β -glucoside, a été identifié récemment. Cependant le processus de biogenèse des parois primaires et secondaires est d'une complexité biochimique inouïe qui constitue toujours une des frontières de la biologie végétale.

L'analyse des mutants *tonneau* illustre une des originalités du mode de développement des végétaux⁶. Du fait d'un défaut affectant simultanément l'élongation directionnelle des cellules et le positionnement des plans de division cellulaire, les lignages cellulaires ne coïncident plus du tout avec le plan d'organisation de la plantule. Fait étonnant, les mutants *tonneau* restent cependant capables d'initier et de mener à terme des processus d'embryogenèse. Les plantules naines qui se développent à partir de ces embryons mutants ont une phyllotaxie normale et sont capables de générer des fleurs, déformées certes par l'absence d'élongation, mais chez lesquelles les positions respectives des pièces florales et leur identité sont respectées. Il en résulte que le lignage cellulaire ne joue pas un rôle significatif dans la différenciation des organes. C'est donc la position d'une cellule végétale par rapport à ses voisines qui détermine sa différenciation.

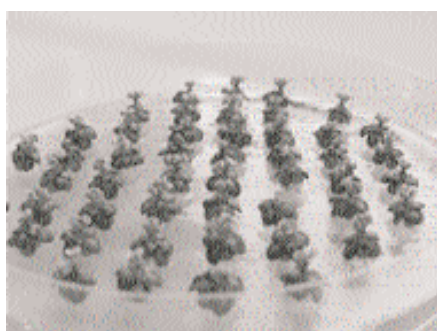


Figure 1 : Les mutants *tonneau* ne présentent pas de bande de préprophase nécessaire à la fois au bon positionnement des plans de division et à l'élongation cellulaire. Il en résulte un phénotype « super-bonzai ». On voit ici un champ d'une cinquantaine de plantes mutantes dans une boîte de pétri et montées à fleur. Leur taille ne dépasse pas le centimètre. Cliché D Bouchez, INRA.

L'existence de plasmodesmes, sorte de petits conduits assurant une continuité du compartiment cytosolique entre les cellules, permet d'envisager que certains messages puissent diffuser de cellule à cellule pour renseigner leurs positions respectives. Des facteurs extracellulaires agissant par une voie apoplastique interviennent probablement aussi dans ce processus.

Les organes aériens, chez les plantes, sont générés par les méristèmes apicaux, structures qui constituent chacune un réservoir de cellules souches qui se renouvellent à mesure qu'ils génèrent les ébauches foliaires ou florales. Chez certains arbres ce renouvellement peut se poursuivre durant un millénaire, à mesure que les tissus générés entrent en sénescence. Ceci illustre le fait que

le développement chez les plantes ne se résume pas à l'embryogenèse. Des progrès importants ont été effectués ces dernières années dans notre compréhension du processus de fonctionnement des méristèmes. Un facteur de transcription appelé WUSCHEL est exprimé dans les cellules du centre quiescent du méristème. Ce facteur induit par un mécanisme inconnu les cellules immédiatement situées au dessus du centre quiescent à devenir cellules souches et générer les ébauches d'organes foliaires ou floraux. En même temps ces cellules souches sont induites à exprimer la protéine CLAVATA 3, qui est sécrétée et interagit avec un récepteur membranaire présent sur un grand nombre de cellules, mais qui restreint l'expression de WUSCHEL dans les cellules du centre quiescent. De ce fait, une boucle régulatrice contrôle en permanence les tailles respectives du centre quiescent et de la population de cellules souches disponibles pour générer les organes⁷. L'auxine, régulateur de croissance, joue aussi un rôle important dans la création des primordia foliaires à partir des cellules souches. Les transporteurs d'efflux de l'auxine (PIN) canalisent celle-ci aux sites d'émergence des primordia. En l'absence de PIN 1 cette production des primordia foliaires est abolie donnant lieu à une tige dépourvue de feuilles. Le processus par lequel la phyllotaxie est générée par accumulation d'auxine en des lieux spécifiques du méristème commence à être élucidé et modélisé.

Le processus d'induction florale joue un rôle déterminant dans la colonisation de l'environnement par une espèce végétale. En effet cette induction florale doit avoir lieu à un stade de développement ou la plante est suffisamment vigoureuse pour supporter la production des graines, mais à une époque de l'année encore favorable à leur maturation. Trois voies de signalisation sont connues pour influencer sur la mise à fleur. De nombreuses espèces annuelles fleurissent à la fin du printemps lorsque les journées deviennent suffisamment longues.

Ceci met en jeu une protéine régulatrice centrale, appelé CONSTANS. L'accumulation de cette protéine est régulée au niveau transcriptionnel par l'horloge circadienne de la plante, elle-même synchronisée par l'action des phytochromes et des cryptochromes activés par la lumière pendant le jour. Il est notable que les cryptochromes sont des photorécepteurs aussi impliqués dans le fonctionnement des horloges circadiennes des champignons filamenteux et de la drosophile. En outre, la protéine CONSTANS est dégradée à l'obscurité par le protéasome et par contre stabilisée par la lumière, particulièrement

à la fin du jour⁸. Ici encore cette stabilité est modulée par l'action conjuguée des phytochromes A et B, et des cryptochromes 1 et 2 activés par la lumière. Au delà d'un certain seuil d'accumulation, cette protéine induit l'expression de FT, inhibiteur de kinase et SOC 1, facteur de transcription de type « MADS box » qui conduit l'expression des gènes d'identité du méristème et la montée à fleur. Une seconde voie de signalisation de l'induction florale a été identifiée chez les plantes bisannuelles. Ces plantes effectuent leur développement végétatif à l'automne et fleurissent au printemps suivant, l'induction florale n'ayant lieu qu'après un passage prolongé au froid, processus appelé vernalisation. La plaque tournante de cette voie de signalisation est aussi un facteur de transcription de type MADS box appelé FLC qui joue le rôle de répresseur de SOC 1 et FT. Comment le processus de vernalisation nécessaire à l'induction florale s'effectue-t-il ? En fait l'expression de FLC est réduite à basse température, mais trois protéines VRN1, 2 et 3 ont pour fonction de « mémoriser » ce passage au froid en maintenant basse la transcription de FLC, même lorsque les températures sont plus clémentes et compatibles avec la montée à fleur. VRN2 est une protéine de type POLYCOMB, connue dans le règne animal pour intervenir dans le fonctionnement de la chromatine. L'action conjointe des protéines VRN provoque la modification des histones H3 en méthylant la lysine 9 de ces histones bloquant ainsi l'accès à la machinerie de transcription et inhibant l'expression de FLC⁹. Une troisième voie de signalisation dite « constitutive » intervient lorsque les deux autres voies

sont inopérantes, par exemple consécutivement à un hiver doux ou la vernalisation n'a pas eu lieu. Elle met en jeu l'action des gibbérellines qui induisent l'expression de SOC1 lorsque la plante a eu un fort développement végétatif. Cette voie a probablement un rôle prépondérant chez les espèces tropicales dans des zones géographiques où les fluctuations climatiques sont faibles. Chaque espèce végétale a sa stratégie spécifique de floraison, ce qui fait la beauté changeante de notre environnement végétal. La complexité du processus de mise à fleur permet de multiples variantes qui rendent une espèce adaptée à un environnement particulier. Ces régulations ont été perturbées au cours du processus de domestication, en particulier lorsque des espèces ont été acclimatées à des régimes lumineux différents de ceux de leur habitat naturel.

Ce rapide survol de quelques étapes clef du développement de la plante illustre l'importance des trois classes de photorécepteurs décrites, relayées par des signaux diffusibles, dans l'architecture de la plante. Cette description n'est nullement limitative. Les signaux lumineux interviennent dans une diversité de processus (germination, élongation cellulaire, induction florale, mais aussi mise en place de l'appareil photosynthétique, fonctionnement des stomates, mouvements foliaires, etc...). N'oubliez pas de fournir à vos plantes préférées la lumière dont elles ont besoin pour bâtir leur architecture et puiser leur énergie, une lumière dont le spectre sera le plus proche possible de celui de la lumière solaire, car tout le spectre y joue un rôle, y compris les ultraviolets ■

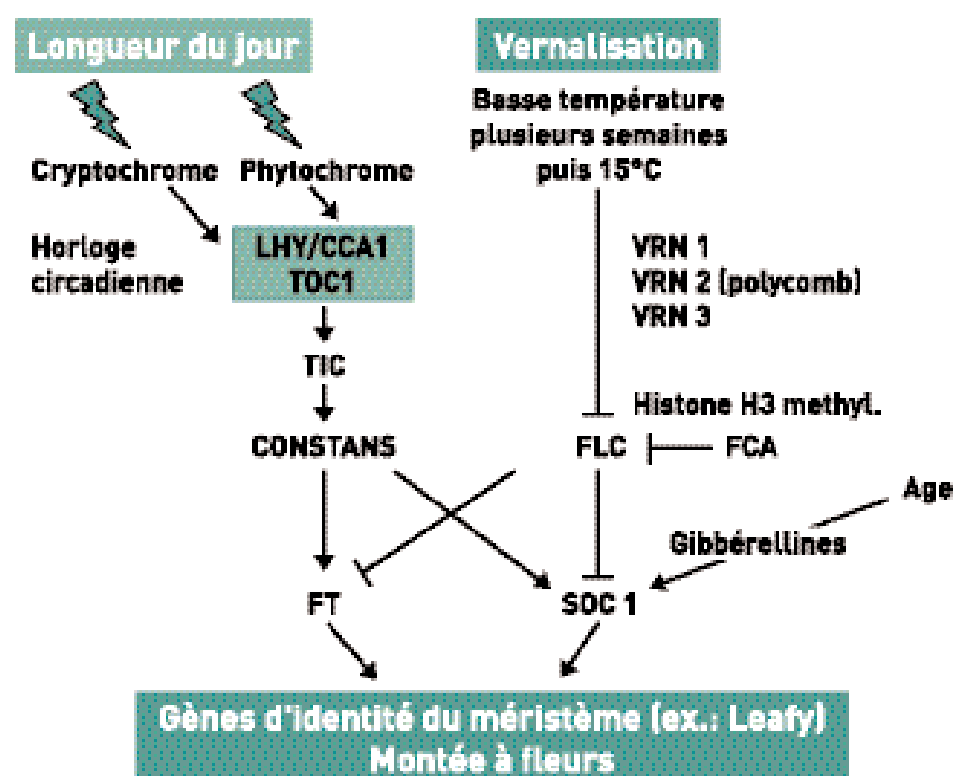


Figure 2 : La partie connue des trois voies de signalisation de l'induction florale chez *Arabidopsis*.



par **Christian Dumas**¹

Durant les années 1980, les connaissances sur la fleur ont rapidement progressé grâce à l'analyse de mutants floraux chez des espèces modèles : le Muflier et l'Arabette des dames. Chez la première, une collection de mutants naturels existe en Grande-Bretagne ; les mutations sont liées à l'activité d'éléments mobiles du génome induits par une élévation de température. Chez la seconde, il s'agit essentiellement de mutants d'insertion obtenus par une technique de transgénèse basée sur la capacité naturelle de transfert de gènes d'une bactérie du sol à la plante. On pourrait aisément croire que sans génétique, il n'y a pas de compréhension possible des phénomènes biologiques. La science ne progresse pas par une loi du tout ou rien mais par de petites avancées, certaines sont imprévisibles mais toujours basées sur l'observation.

La fleur, le poète et la génétique

Après avoir écrit *Les souffrances du jeune Werther*, Goethe quitte la cour de Weimar pour l'Italie où il s'adonne à la botanique. L'observation des plantes l'amène à publier, en 1790, une remarquable théorie : *La métamorphose des plantes*. Il a l'intuition de l'origine foliaire des organes floraux et décrit la transformation d'un organe d'un type en un organe d'un autre type (exemple : un pétale en une étamine). Ce n'est pas sans rappeler ce qui a été observé chez la mouche *Drosophile* ou chez un mutant, une antenne peut remplacer une patte ; les responsables de ces mutations sont des gènes homéotiques qui renferment tous dans leurs séquences d'ADN un motif commun très conservé : la boîte homéo. Cette découverte fondamentale a été récompensée par un prix Nobel.

Les organes floraux sont de quatre types : sépale, pétale, étamine et carpelle ; chaque type est sur un cercle différent ou verticille. Chez les fleurs, on distingue donc quatre verticilles concentriques à symétrie axiale ou bilatérale. On parle encore de fleurs régulières comme l'églantine ou irrégulières comme les orchidées. L'observation de roses monstrueuses, ou mutants, a été rapportée, en 1807, par Jean-Jacques Rousseau. Dans ses *Lettres sur les éléments de botanique*, il notait que *la multiplication des pétales avait entraîné la disparition des organes reproducteurs transformés en pétales brillants !*

¹ Membre de l'Académie des sciences, professeur à l'École normale supérieure de Lyon.

Ces observations de Goethe et de Rousseau n'ont pris toute leur valeur qu'au début des années 1990, période où l'on a démontré le rôle des gènes homéotiques dans la formation des fleurs, même chez des espèces où elles sont très simplifiées, comme chez le maïs. Trois groupes de ces gènes contrôlent des fonctions identitaires. A spécifie les sépales, A + B les pétales, B + C les étamines et enfin C, les carpelles (ou pistil). Des interactions positives (A + B ou B + C) ou négatives (entre A et C) existent entre ces fonctions. Ce modèle sous-tend une unité ontogénique et fonctionnelle chez les 300 000 espèces de

la fois par le pollen et le pistil. Il en résulte une hétérozygotie de tous les individus à ce locus, un échec de l'auto-fécondation et une impossibilité de pollinisation d'une plante par un pollen qui porterait l'un de ses deux allèles. Chez une plante cousine de l'Arabette, le chou, le locus S est très polymorphe avec plus de 60 allèles ; complexe, il s'étend sur plusieurs dizaines de kb et contient plusieurs gènes dont les allèles coségrègent avec le phénotype d'auto-incompatibilité. D'un point de vue fonctionnel, le locus S contient deux unités de transcription, la première codant le déterminant mâle, la seconde le déterminant

par des expériences entraînant des pertes et des gains de fonction ; la protéine SCR est le ligand qui active SRK dans le cas d'une pollinisation auto-incompatible.

Chaque grain de pollen compatible déposé sur le pistil peut émettre un tube qui véhicule deux gamètes mâles. Côté femelle, deux gamètes sont localisés à l'intérieur d'un appareil complexe : à l'extérieur, l'ovaire à l'origine du fruit, et à l'intérieur, l'ovule à l'origine de la graine. Rien ne permet, *a priori*, de distinguer les deux gamètes mâles. Par contre, les deux gamètes femelles sont différents. L'un, après fusion avec un gamète mâle, donne naissance au zygote principal à 2n pour former l'embryon ou germe de la graine. L'autre, beaucoup plus gros, renferme deux noyaux (n+n) ; après fécondation par le second gamète mâle, il donne naissance à un produit de fusion à 3n qui se développe en un embryon accessoire, l'albumen. Celui-ci fonctionne comme nourrice pour l'embryon-plantule avant qu'il ne soit autonome. Cette double fécondation, interne et unique, résulte de l'affranchissement progressif des plantes au milieu liquide. Depuis sa découverte en 1898 chez le lis, elle a été retrouvée chez toutes les plantes à fleurs et a pu être en partie élucidée, grâce à un système *in vitro* réalisé en 1994, dans notre laboratoire. Plus récemment, l'utilisation de mutants chez l'Arabette a permis de mettre en évidence d'autres interactions gamétiques.

J'ai souligné ici l'importance de l'observation. Aujourd'hui, les seuls liens entre le citadin et la Nature sont les paysages modelés par l'Homme et observés de la fenêtre d'une voiture ou sur un écran de télévision. Par ailleurs, la disparition de référence aux plantes dans les programmes du secondaire au profit de données trop conceptuelles, éloigne les enfants et les jeunes adultes de la Nature, sans éveiller leur sens de l'observation. Il est important de reconnaître et de nommer quelques plantes, et au-delà de comprendre les mécanismes intimes de la vie. Nos concitoyens ont souvent une approche émotionnelle de la Nature qui les conduit parfois à des attitudes éloignées des réalités scientifiques. A cet égard, on peut regretter que l'Europe ait réduit à néant son soutien aux recherches en génomique végétale dans le cadre du 6^e PCRD. Ceci résulte de l'action conjuguée de politiques et de mouvements "écologistes" qui font des amalgames regrettables sur les OGM, leur intérêt en agriculture et les multinationales qui les développent. Fleur, pollinisation et fécondation constituent des enjeux importants dans le domaine de la sélection, de la création variétale et de la biodiversité ■

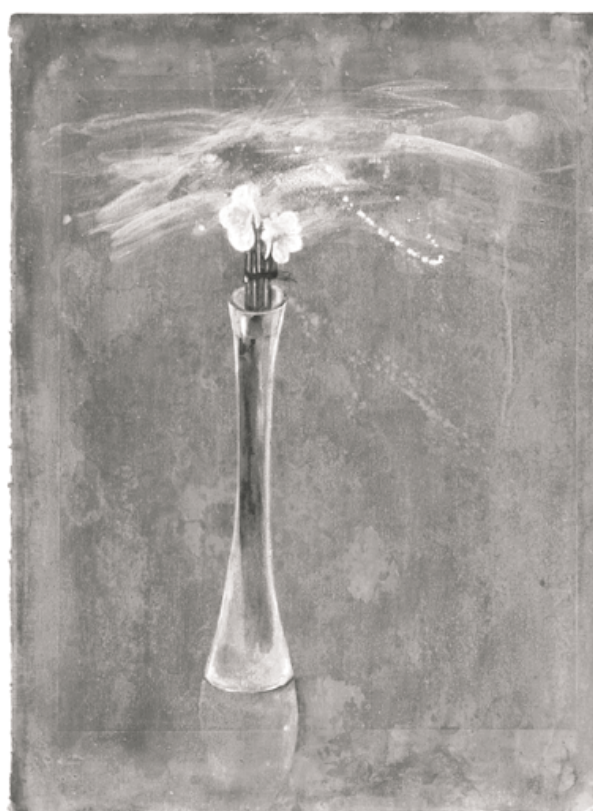
L'observation des fleurs

fleurs identifiées. La poésie, l'observation : qualité première des botanistes, et la génétique se trouvent ainsi réunies dans une incroyable trilogie moderne.

Pollinisation et fécondation

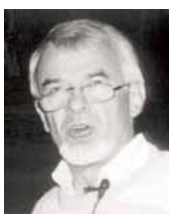
La reproduction sexuée implique une reconnaissance entre le grain de pollen (partenaire mâle) et le pistil (partenaire femelle) au sein de la fleur. Le pollen est déposé au contact du pistil par le vent, l'eau ou les animaux. Le pistil est alors capable de discriminer du pollen d'une autre espèce ou de la même plante (réaction d'auto-incompatibilité). Or les risques d'autofécondation sont élevés puisque 96 % des espèces possèdent sur un même pied des organes mâles et femelles et, parmi elles, 75 % ont les deux présents dans la même fleur. Ce mécanisme induit un risque de consanguinité élevé, phénomène largement défavorable lors de variations du milieu. Au cours de l'évolution, des systèmes qui limitent la consanguinité ont été sélectionnés ; ils seraient à l'origine du succès évolutif des plantes à fleurs et de leur position dominante dans la flore mondiale.

L'auto-incompatibilité est souvent contrôlée par un seul locus multiallélique, le locus S (S pour *Self-incompatibility*) ; le rejet du pollen se produit lorsque le même allèle S est exprimé à



femelle ; l'interaction entre les deux conduisant au rejet du pollen. Parmi les différents gènes identifiés, SRK (*S locus receptor kinase*) est responsable de l'auto-incompatibilité, côté femelle. Il code une protéine transmembranaire dont la structure rappelle celle des récepteurs kinase des animaux. Son implication a été attestée par l'analyse de variants autocompatibles porteurs de mutations qui entraînent l'absence de transcrits ou ne donnent que des transcrits tronqués, et à des expériences de transgénèse. Récemment, le déterminant mâle a été identifié par séquençage de la région du locus S de différents haplotypes. Il s'agit de SCR (*S locus cysteine rich*) qui code une nouvelle classe de petits peptides polymorphes riches en résidus cystéine. La démonstration finale de son rôle a été apportée

Endosymbioses racinaires



par Jean Dénarié ¹

Des symbioses d'une grande importance écologique et agronomique

L'aptitude à établir des associations à bénéfice mutuel est une caractéristique très ancienne des organismes vivants, et certaines de ces symbioses ont joué un rôle fondamental dans l'évolution. Il y a environ 400 millions d'années, la colonisation du milieu terrestre par les plantes a été associée à la formation de symbioses appelées mycorhizes à arbuscules à cause des structures que le champignon forme à l'intérieur des cellules de racines et qui facilitent les

échanges de métabolites entre partenaires. Ces mycorhizes jouent un rôle important dans la nutrition phosphatée des plantes et sont présentes chez plus de 80 % des espèces végétales existantes, chez des mousses, fougères, gymnospermes et angiospermes. Le maintien de ces associations au cours de l'évolution et leur ubiquité témoignent de l'importance de ces symbioses dans l'adaptation des plantes au milieu.

Bien que l'azote moléculaire (N_2) constitue environ 80 % de l'atmosphère terrestre, l'azote constitue un facteur limitant majeur de la croissance des végétaux cultivés. Ce paradoxe est dû au fait que la molécule d'azote est très stable et que les organismes supérieurs (eucaryotes) sont incapables de l'utiliser. Seules des bactéries (procaryotes) sont capables de réduire N_2 en ammoniac, de

« fixer » l'azote en le rendant assimilable. Cette réduction nécessite beaucoup d'énergie : c'est pourquoi les systèmes fixateurs les plus efficaces sont constitués par des plantes capables de former des organes particuliers, les nodosités racinaires, où elles hébergent des bactéries fixatrices. Dans ces nodosités la plante fournit de l'énergie et des composés carbonés à la bactérie qui en retour fournit de l'azote assimilable à son hôte. Ces nodosités produisent chaque année plus d'azote assimilable que l'industrie des engrais. La symbiose fixatrice d'azote la plus importante d'un point de vue écologique et agronomique est celle associant des bactéries du sol, les Rhizobium, aux Légumineuses.

Ces deux types d'endosymbioses racinaires jouent un rôle considérable dans le fonctionnement des écosystèmes

¹ Directeur de recherche à l'INRA, lauréat de l'Académie des sciences.

naturels et dans la nutrition phosphatée et azotée des plantes. Le développement à l'échelle du globe de systèmes agricoles durables nécessitera de mieux exploiter ces systèmes symbiotiques.

Des signaux symbiotiques

L'étude génétique des symbioses vise à identifier, chez chacun des organismes, l'ensemble des gènes impliqués dans la relation avec l'autre partenaire, le programme symbiotique. L'étude de la symbiose Rhizobium-Légumineuses a montré que chaque partenaire contrôle l'expression du programme symbiotique de son associé à l'aide de signaux moléculaires. Chez Rhizobium les gènes *nod* (pour nodulation) sont responsables de la reconnaissance de la plante-hôte, de l'infection et de l'induction de la formation des nodosités et sont impliqués dans un dialogue moléculaire entre les deux partenaires. Des signaux symbiotiques, en général des flavonoïdes, sont sécrétés par les racines des légumineuses et induisent l'expression des gènes *nod* de Rhizobium. Ces gènes *nod* contrôlent la production de signaux bactériens, les facteurs Nod, qui sont des oligomères de chitine N-acylés par une chaîne d'acide gras; chaque espèce de Rhizobium synthétise un type de facteurs Nod présentant une combinaison de substitutions chimiques particulière qui confère à la bactérie sa spécificité d'hôte.

Les facteurs Nod induisent de profondes transformations dans les racines de l'hôte pour préparer l'infection symbiotique et induire l'organogenèse des nodosités: réorganisation du cytosquelette, activation de la transcription de gènes symbiotiques précoces, induction de divisions cellulaires, etc... Ces signaux agissent de façon spécifique à des concentrations extrêmement faibles ce qui implique l'existence chez la plante hôte de récepteurs à haute affinité et de mécanismes d'amplification et de transduction de ces signaux. L'analyse génétique a identifié plusieurs gènes contrôlant la perception des facteurs Nod et la transduction du signal chez la plante. La perception des facteurs Nod implique des récepteurs kinases à domaine LysM, qui pourraient agir sous forme d'hétérodimères et être impliqués dans plusieurs étapes du processus de l'infection symbiotique. En aval, trois gènes DMI contrôlent non seulement la formation de nodosités mais également la formation d'endomycorhizes (fig. 1). Les deux types de symbioses partagent donc des étapes communes dans la cascade de transduction des signaux symbiotiques. Quelles sont ces étapes? Une des

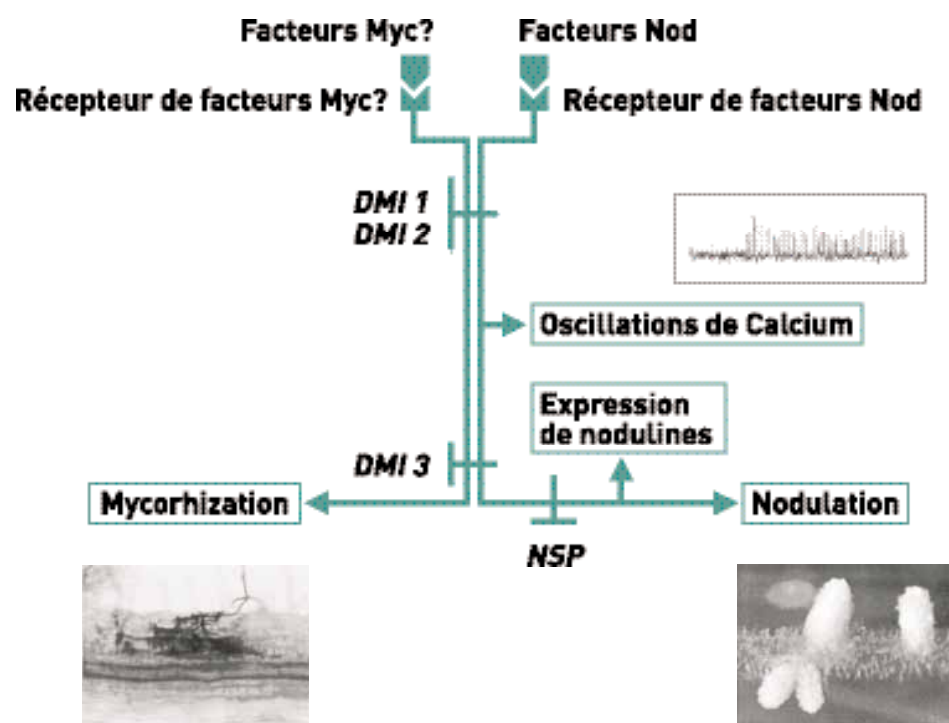


Figure 1: Perception et transduction de signaux symbiotiques conduisant à la formation de mycorhizes et/ou de nodosités.

premières réponses de la plante-hôte à l'addition de facteurs Nod est l'induction d'oscillations calciques dans les poils absorbants. Les gènes DMI 1 et DMI 2 sont nécessaires pour l'induction de cette réponse calcique, DMI 2 codant pour un récepteur-kinase qui pourrait être impliquée dans la perception des deux types de signaux symbiotiques, bactériens et fongiques, et DMI 1 codant pour un canal ionique. Le gène DMI 3 code pour une protéine-kinase, calcium et calmoduline dépendante, dont la fonction est vraisemblablement d'interpréter des signatures calciques. Le fait qu'une telle protéine soit indispensable pour la formation de mycorhizes indique que la voie de transduction du signal mycorhizien doit également impliquer une réponse calcique. Le gène DMI 3 étant le dernier gène, identifié dans la voie de transduction, qui est commun aux deux types de symbioses (fig. 1), il est tentant de faire l'hypothèse que les signaux produits par les deux types de symbiotes provoquent des réponses calciques différentes (par exemple des oscillations de fréquence ou d'intensité différentes) et que la fonction de la protéine DMI 3 est de percevoir ces différences et d'activer soit le programme de nodulation, soit le programme de mycorhization. Il s'agit maintenant d'identifier les signaux mycorhiziens, les facteurs Myc, pour déterminer leur structure, analyser les réponses calciques qu'ils induisent et analyser la voie de perception-transduction des signaux de mycorhization. La découverte de la nature chitinique des facteurs Nod avait été une surprise. En effet les bactéries et les plantes ne produisant pas de composés chitiniques, pour quelles raisons une bactérie utiliserait de tels composés comme signaux

moléculaires? On peut maintenant émettre l'hypothèse suivante: dans la symbiose mycorhizienne, très ancienne (400 millions d'années), l'évolution a sélectionné des mécanismes de signalisation fondés sur la synthèse et la perception de composés de type chitinique, qui sont abondants chez les champignons. La symbiose Rhizobium-légumineuses, plus récente (70 millions d'années) aurait utilisé et adapté une partie de ces mécanismes pour la signalisation conduisant à la formation de nodosités.

La génomique et l'identification des programmes symbiotiques

La génétique moléculaire a permis d'identifier un petit nombre de gènes symbiotiques. Des programmes de génomique sont développés maintenant pour permettre des approches globales, intégratives. Le génome de *Sinorhizobium meliloti*, partenaire symbiotique de *Medicago*, a été séquencé permettant la préparation de puces à ADN contenant tous les gènes identifiés et l'étude globale du transcriptome. Ces outils devraient permettre l'identification des gènes de Rhizobium impliqués dans la symbiose et des signaux de la plante et de l'environnement qui contrôlent l'expression de ces gènes au cours des différentes étapes, colonisation de la rhizosphère, infection symbiotique, développement des bactéroïdes fixateurs d'azote, etc... Le génome du champignon mycorhizien *Glomus intraradices* est en cours de séquençage.

Pour ce qui concerne l'étude de la plante-hôte, des équipes françaises ont proposé au début des années quatre

vingt-dix d'utiliser une légumineuse modèle, *Medicago truncatula*, qui est diploïde et autogame, possède un génome de taille réduite (500 Mb), et est commodément transformable par *Agrobacterium*. Cette espèce a été adoptée depuis comme modèle par un grand nombre de laboratoires américains et européens pour identifier les programmes symbiotiques végétaux et faciliter l'étude de la biologie des légumineuses.

Des programmes importants de génomique de *Medicago truncatula* sont développés en Europe et aux États-Unis avec un double objectif: d'une part identifier les programmes symbiotiques des plantes, et d'autre part faciliter la génétique et l'amélioration des légumineuses cultivées qui jouent, grâce à leur aptitude à fixer l'azote, un rôle clé dans la production mondiale de protéines et dans le développement d'une agriculture respectueuse de l'environnement. Une étude de cytogénétique moléculaire a révélé que la structure du génome de cette espèce est simple, les régions riches en séquences répétées et pauvres en gènes (hétérochromatine) étant concentrées autour des centromères. Une stratégie de séquençage a donc été adoptée qui vise à concentrer les efforts sur les régions du génome riches en gènes (euchromatine) estimées à 200 Mb (la taille du génome d'*Arabidopsis* étant de 140 Mb). Ce programme doit s'achever en 2006. Plusieurs approches de génomique fonctionnelle sont utilisées. L'étude de l'expression des gènes se fait par utilisation de puces à ADN qui comptent actuellement 16 000 gènes mais dont le nombre devrait augmenter avec les progrès du séquençage du génome. Par ailleurs des programmes de mutagenèse systématique par ethylmethyl sulfonate (remplacement d'une base par une autre), par neutrons rapides (formation de petites délétions) ou par insertion d'un élément transposable (étiquetage de gènes) vont fournir des ressources importantes pour l'étude de la fonction des gènes. Enfin, des études de génomique comparative visent à comparer l'organisation des génomes de *Medicago truncatula* et des principales légumineuses cultivées pour pouvoir transférer efficacement les informations obtenues sur le système modèle. Ces études devraient grandement faciliter la génétique et l'amélioration des légumineuses, et permettre un accroissement des superficies qui leur sont consacrées en Europe, rendant possible le développement de systèmes agricoles durables ■

Végétation et changements climatiques actuels



par Paul Ozenda¹

Les changements climatiques en cours ou prévisibles dans les prochaines décennies, attribués pour l'essentiel à une augmentation de l'effet de serre, font l'objet d'une littérature démesurée concernant leurs causes, leur déroulement, leur impact sur les milieux naturels et sur les activités humaines, et aussi d'une vulgarisation intense souvent au prix d'une schématisation excessive. Dans ce foisonnement graphique, l'incidence sur le monde végétal est relativement peu évoquée ; ou alors il est surtout question, trop peut-être, de la biodiversité ou des seuls effets du réchauffement sur l'accroissement des rendements et sur les migrations, plutôt que des atteintes aux grands équilibres de la biosphère. Nous sommes loin d'une approche précise, pour diverses raisons. D'abord, l'impact sur la végétation n'a pas retenu une attention à la mesure de l'importance de celle-ci à la surface du globe (la photosynthèse est l'une des principales réactions chimiques) ou de sa place dans la vie de l'homme, tant pour sa subsistance que pour son environnement. Ensuite, le réchauffement n'est pas seul en cause. L'accroissement de la teneur atmosphérique en CO₂, les modifications des précipitations, les relations entre organismes, jouent aussi un rôle majeur. Enfin il faut tenir compte de ce que la biosphère possède, sinon une capacité d'autorégulation encore discutable, du moins une grande inertie qui fait qu'une partie des impacts apparaîtraient avec un retard peut-être pluriséculaire.

On sait que la température moyenne à la surface du globe s'est élevée progressivement de 0°,7 environ au cours du XX^e siècle et que le phénomène semble s'accélérer, les années récentes ayant été les plus chaudes. Le signe le plus apparent est la fonte des glaciers alpins ; il faut ajouter la probabilité de grandes irrégularités comme les canicules estivales, dont celle de 2003 n'est peut-être

que la première d'une série. Mais des indices sont également perceptibles dans la végétation : par exemple un allongement de deux à trois semaines de la durée du cycle végétatif d'arbres à feuilles caduques (débourrement plus précoce au printemps, chute des feuilles plus tardive).

C'est surtout en montagne que les observations sont nettes, peut-être parce que les parcs nationaux représentent un excellent observatoire écologique. Ainsi se confirme qu'un enrichissement de la flore de haute altitude, plusieurs fois signalé depuis 1950 environ, s'accélère : dans les Alpes suisses et autrichiennes, les altitudes maximum observées se sont élevées, suivant les espèces, de 2 à 4 mètres par décennie depuis trois-quarts de siècle. La faune est peut-être encore plus sensible : dans le parc de la Vanoise le suivi de la répartition en altitude de 35 espèces d'oiseaux a montré que l'ensemble de l'avifaune est sensiblement remontée.

Dans d'autres chaînes, c'est la limite supérieure des forêts (timberline) qui paraît elle aussi s'être élevée dans la seconde moitié du XX^e siècle. On a observé en Suède une remontée de l'ordre de 50 m de l'altitude supérieure de la ceinture du Bouleau tortueux ainsi qu'une progression du Pin sylvestre, dans l'Oural du sud un réchauffement de près d'un degré pendant le siècle dernier qui aurait entraîné une élévation de la limite des arbres de 20 à 80 m suivant les localités, et dans les Rocheuses la formation de nouveaux îlots d'arbres au-dessus de la limite forestière naturelle.

L'emballement apparemment inévitable de l'effet de serre se traduirait par un réchauffement moyen de l'ordre de 3° dans la première moitié du siècle à venir, peut-être de 5° plus tard. Mais les effets thermiques ne sont pas seuls. Il s'agit de scénarios complexes, souvent très dissemblables, qui introduisent notamment d'importantes variations des précipitations dans un sens ou dans l'autre et des différences géographiques très sensibles, pour le moment à l'échelle subcontinentale au degré actuel de précision. La biosphère a vu pire dans le passé ; mais ce qui est nouveau c'est l'échelle de temps : le monde végétal aurait tout juste cinquante ou cent ans pour « se mettre en règle » avec les conditions nouvelles.

De ce fait, les possibilités d'adaptation *in situ* sont réduites. Une évolution géné-

rique n'a pas le temps de dépasser la sélection intraspécifique. Seules restent possibles des modifications physiologiques ou phénologiques (comme celles du cycle végétatif annuel). On a certes étudié les effets bénéfiques que pourraient avoir sur l'assimilation et la croissance l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en CO₂ et le réchauffement ; mais l'extrapolation d'expériences de laboratoire ou d'observations forestières n'implique pas forcément un gain de rendement des cultures ou des forêts, en oubliant l'existence dans la nature de facteurs limitants (eau du sol, éléments minéraux, concurrence) et le danger d'une prolifération accrue des insectes phytophages et des maladies cryptogamiques.

La seule parade possible semble être la migration. De prime abord, l'affaire paraît simple, presque aux limites de la science-fiction : le réchauffement de l'ordre de 3° pourrait entraîner, à terme, un déplacement des zones de végétation de 500 km vers le nord (ou une translation des étages de 500 m vers le haut dans les grandes chaînes). Un tel *shift* de la végétation vers le nord a été déjà modélisé pour le continent nord-américain. Les choses sont beaucoup plus compliquées en Europe, en raison de la configuration du continent (importance des montagnes, découpage des côtes), mais une simulation a été faite par exemple pour la Suisse. L'existence, pour tout le continent, de cartes de végétation détaillées peut constituer une aide précieuse ; toutefois font encore défaut de véritables cartes écologiques mettant en relation les grandes formations végétales avec les paramètres climatiques qui les caractérisent.

En réalité, si le sens des migrations semblent imposé par le réchauffement, et leur amplitude finale plus ou moins évaluable, les mécanismes et la vitesse de ces déplacements seraient très différents d'une espèce à l'autre ; il est improbable que des écosystèmes puissent se transporter en corps constitué sans se dissocier, et de nouvelles biocénoses apparaîtraient.

En outre de nombreux obstacles gêneraient les migrations : barrières topographiques, différence de sols, photopériodisme. Par suite, de nombreuses espèces sont menacées d'extinction. Il paraît bien excessif d'affirmer, comme on a pu le lire dans la grande presse, que deux degrés de plus entraîneraient la disparition d'un quart des espèces ; mais

si par exemple l'étage alpin des hautes montagnes venait à se réduire aux massifs les plus élevés, des relations numériques connues entre superficie et biodiversité permettent d'évaluer un ordre de grandeur des extinctions.

Ces migrations supposent de toute façon un temps très long de mise en équilibre, beaucoup plus long que la remontée des isothermes : si le déplacement des espèces animales pourrait s'observer assez vite, en revanche la croissance des arbres, la maturation des sols, demandent des délais plus que séculaires.

Le monde vivant a du de tout temps faire face à des fluctuations climatiques. Des variations de 1° à peine, à l'époque historique, ont suffi pour marquer fortement l'histoire humaine, comme le « petit âge glaciaire », du XVII^e au XIX^e siècle. Dans les millénaires précédents, des changements plus amples ont laissé leurs traces dans des oscillations de 200 à 300 m de la limite supérieure des forêts. On pourrait être tenté de ne voir, dans les phénomènes actuels, qu'une suite ou une accélération du dernier réchauffement postglaciaire : le début d'un interglaciaire chaud, en quelque sorte. Dans ce cadre le meilleur exemple de migrations est peut-être donné par la recolonisation de l'Europe centrale par les grandes espèces forestières après la dernière glaciation, bien connue par l'étude des sédiments polliniques des tourbières ; la revégétalisation des moraines libérées par le recul des glaciers, qui a été minutieusement étudiée, donne aussi une image de ce qu'a pu être la progression des groupements herbacés en ce temps-là. Mais il n'en demeure pas moins que la vitesse du *Global change* actuel est dix à cent fois plus grande que celle du déglacement post-würmien, et qu'il serait hasardeux d'appliquer à l'époque présente les modèles tirés de l'étude du Quaternaire.

Si l'homme n'est pas en mesure d'empêcher les changements du monde végétal, du moins peut-il essayer de s'y adapter en anticipant. On connaît suffisamment les exigences climatiques et la biologie des plantes des divers pays pour pouvoir choisir parmi elles les espèces cultivées du futur en fonction de ce que seront les conditions supposées ; on peut aussi préférer pour les reboisements des essences qui pourront, au terme de leur croissance, donner des forêts en équilibre avec ce que sera peut-être alors le climat ■

¹ Membre de l'Académie des sciences, professeur émérite à l'université Joseph Fourier

Éloge de l'usine chimique végétale

par Paul Caro²

Question :

Un botaniste dans un ouvrage consacré à « l'éloge des plantes » s'est plaint du peu d'intérêt que les hommes leur accordent par rapport aux animaux. Qu'en pensez-vous ?

Faire l'éloge des plantes me paraît convenable ! Elles sont fascinantes, esthétiquement elles sont très belles, et notre environnement serait bien triste sans elles. Elles confèrent aux paysages une grande diversité mêlée d'émotions esthétiques. De plus elles sont utiles. En pompant l'eau du sol et en la vaporisant dans l'atmosphère elles jouent un rôle déterminant dans le cycle de l'eau qui s'établit en permanence entre l'océan, la terre et l'atmosphère. Elles sont capables à partir de molécules très simples comme le gaz carbonique, l'eau, les anions nitrate et sulfate et grâce à l'énergie solaire de fabriquer une multitude de molécules complexes comme le saccharose, tous les acides aminés et les vitamines dont elles vont se servir pour se développer et se reproduire. Elles jouent par conséquent un rôle déterminant dans la nutrition de l'homme et des animaux. Depuis toujours, les civilisations antérieures ont sélectionné des plantes pour améliorer leur qualité. Ainsi les civilisations pré-colombiennes ont domestiqué le maïs il y a déjà plus de 5000 ans à partir d'une petite plante sauvage buissonnante. Les végétaux se caractérisent par une surprenante plasticité de leur développement. Certaines cellules végétales déjà très différenciées sont capables de régénérer un nouvel individu. Cette propriété, qui porte le nom de totipotence, est à l'origine d'une multitude de techniques (micro-bouturage, clonage, etc.) largement utilisées dans l'industrie des semences et des plants. De très nombreux polymères que les plantes fabriquent, comme la lignine et la cellulose, fournissent des fibres qui présentent un intérêt considérable dans de très nombreux domaines touchant l'ameublement, les industries du bâtiment et papetière et bien sur l'habillement. Mais les plantes depuis toujours

¹ Membre de l'Académie des sciences, directeur de l'Institut de biologie structurale J. P. Ebel, Grenoble.

² Correspondant de l'Académie des sciences, directeur de recherche au CNRS.

Entretien avec Roland Douce¹



ont été utilisées pour soigner. Ainsi des molécules appartenant à des familles chimiques diverses (alcaloïdes, terpénoïdes, flavonoïdes, etc.) et issues de cette formidable usine chimique que constitue le végétal, sont utilisées comme pesticides (roténone, pyréthrine, etc.) et médicaments (morphine, taxol, curare, digitaline, salicylate, atropine, nicotine, quinine, etc.). De toute évidence les plantes concilient la beauté et l'utilité.

Où en est l'étude du génome des plantes à fleurs ?

Arabidopsis thaliana (l'arabette des dames) s'est imposé comme système modèle pour l'analyse du génome chez les végétaux : d'abord la taille de son génome nucléaire est très petite (140 millions de paires de bases) ensuite, l'intervalle de temps entre la graine et la plante entière est relativement court ce qui est commode pour assigner à chacun des gènes une fonction précise grâce à la création de mutants chez lesquels un gène donné est interrompu. L'étude du génome des plantes à fleurs a permis en particulier d'apporter des précisions importantes sur la reproduction et le développement, sur le métabolisme des principaux organes, sur le statut hydrominéral des plantes, sur les réponses adaptatives des végétaux aux contraintes de l'environnement et enfin sur la pathologie végétale. Il reste encore à découvrir la fonction d'au moins 30 % des gènes restants sur un total d'environ 30 000. Par ailleurs les génomes les plus importants sont ceux des espèces cultivées impliquées dans notre alimentation et de très nombreux chantiers sont ouverts dans cette direction. Ainsi le génome du riz (440 millions de paires de bases) est pratiquement entièrement séquencé. Il convient de noter au passage que l'ordre des gènes (synténie) est conservé sur de grandes

portions de chromosomes lorsqu'il est comparé chez des espèces végétales apparentées. Enfin le génome nucléaire présente une étonnante plasticité. C'est en particulier le cas du blé, véritable monstre végétal, qui résulte de l'addition de génomes différents.

Quels sont les systèmes de défense naturels des plantes ?

Les plantes ne possèdent pas de défense immunitaire dite « acquise » telle que nous la connaissons chez l'homme avec toute cette machinerie complexe impliquée dans la production d'anticorps, en revanche elles possèdent une redoutable immunité « innée ». Lorsqu'une plante est attaquée par un agent pathogène (virus, bactéries, champignons, etc) elle réagit en gros toujours de la même manière. Cette stratégie de défense inclut l'induction d'une mort programmée au site même de l'infection conduisant le plus souvent à des nécroses localisées arrêtant ainsi l'invasion du pathogène. Elle inclut également l'excrétion par la cellule de molécules variées comme les phytoalexines qui se comportent comme de véritables antibiotiques et des protéines particulières qui sont le plus souvent des hydrolases comme les glucanases capables d'attaquer la paroi des champignons. Les plantes se prémunissent des grands prédateurs (insectes, mammifères, etc.) en fabricant une multitude de composés toxiques particulièrement pernicieux (strychnine, curare, digitaline, atractyloside, etc.).

Les plantes peuvent dialoguer entre elles grâce à l'émission de petites molécules volatiles (éthylène, terpènes, etc.). La réception de ces molécules par la plante met en route toute une cascade de transduction du signal qui se concrétise finalement par l'expression de gènes particuliers codant pour des protéines toxiques ou présentant un goût amer pour l'agresseur éventuel. Par exemple, en Afrique, les acacias qui sont broutés par les chèvres émettent un signal volatil qui va être interprété par les voisins comme l'avertissement d'avoir à démarrer la synthèse de composés amers. Le dialogue chimique peut également s'effectuer entre la plante et le prédateur du prédateur. Lorsqu'une chenille attaque certaines plantes celles-ci émettent des molécules volatiles qui

vont renseigner le prédateur de la chenille et l'attirer.

La compréhension des mécanismes moléculaires de la perception de l'attaque des pathogènes et du déclenchement de la riposte de la plante permettra une meilleure protection des plantes basée sur la stimulation contrôlée de leurs défenses naturelles.

Vous êtes un spécialiste du métabolisme des plantes supérieures : quel est l'état des recherches sur le métabolisme de la cellule végétale.

C'est un domaine de recherche qui a explosé ces dernières années. Ainsi, par exemple, le saccharose, produit ultime de la photosynthèse, est une molécule de toute première importance car elle alimente en carbone et en énergie cette formidable usine chimique que représente la plante. Les processus qui conduisent à son élaboration à la lumière dans les cellules chlorophylliennes des feuilles et à son transport via les vaisseaux conducteurs (sève élaborée) sont des sujets qui ont énormément progressés. Il existe une multitude de mécanismes impliqués dans la régulation de la synthèse du saccharose qui intègrent les besoins de l'organisme entier et ajustent la vitesse de synthèse à ceux-ci. Cette régulation est encore loin d'être comprise. Par ailleurs, l'aiguillage de la sève élaborée vers tel ou tel organe guidera nécessairement le développement et la croissance ultérieure de la plante. Les signaux métaboliques et/ou de nature hormonale impliqués dans la mise en place des vaisseaux conducteurs doivent impérativement être recherchés pour comprendre les relations qui existent, au niveau de la plante entière, entre le métabolisme et le développement.

D'une façon générale le métabolisme au sein de la cellule végétale est écartelé entre les divers compartiments de la cellule. Citons quelques exemples. La synthèse de l'acide folique, une vitamine essentielle, s'échafaude progressivement dans les plastides, le cytosol et les mitochondries. Le cycle photorespiratoire qui se déroule dans les feuilles éclairées lorsque ces dernières ne sont plus approvisionnées en gaz carbonique, implique le fonctionnement coordonné de pratiquement tous les compartiments de la cellule (chloroplastes, cytosol, mito-

chondrie, peroxyosome!). Ce cycle permet de dissiper une grande partie de l'énergie reçue par les feuilles exposées à la lumière. De même certaines synthèses particulières impliquent divers territoires tissulaires. Ainsi l'atropine est synthétisée dans les racines, acheminée aux vaisseaux conducteurs pour s'accumuler dans les territoires foliaires. Les « dialogues métaboliques » entre les divers compartiments de la cellule, entre les tissus au sein d'un même organe et entre les organes, s'effectuent par le biais de petites molécules qui sont prises en charge par une multitude de systèmes de transporteurs dont l'inventaire est encore loin d'être effectué.

L'énergie nécessaire au fonctionnement de la machinerie métabolique chez les plantes supérieures provient de la lumière. Les complexes supramoléculaires (antennes collectrices de lumière, photosystèmes, transporteurs d'électrons) impliqués dans la captation de l'énergie lumineuse et sa conversion en énergie chimique sont localisés dans les membranes (thylakoïdes) des chloroplastes (Dans 1 gramme de feuille il y a environ 3 108 chloroplastes et la surface déployée par ces membranes est de 5 m²). La lumière induit dans les thylakoïdes un courant d'électrons qui permet la recharge d'un accumulateur d'électron (NADPH) et d'énergie (ATP). Le donneur d'électron n'est autre que l'eau

ce qui conduit à la production d'oxygène. La vitesse de ce courant d'électrons est modulée par les demandes en NADPH et ATP pour les besoins du métabolisme et notamment pour la synthèse du saccharose qui sera distribué à tous les organes de la plante via les vaisseaux conducteurs. On peut dire que l'on a décortiqué pratiquement toutes les étapes de ce transfert d'électrons à l'heure actuelle. De même l'utilisation conjuguée des outils de la physiologie, de la biophysique et de la génétique moléculaire en particulier par l'équipe de Francis-André Wollman à Paris (CNRS), ont permis d'avancer considérablement dans la compréhension des mécanismes qui président à la mise en place de cette chaîne de transfert d'électrons au cours de la biogenèse des thylakoïdes.

Le métabolisme est encore très loin d'avoir livré tous ses secrets. Il ne faut pas oublier qu'il est le résultat final de l'expression du génome : sa complexité est extrême et les recherches dans ce domaine rebondiront nécessairement.

Et les phénomènes de fixation de l'azote ?

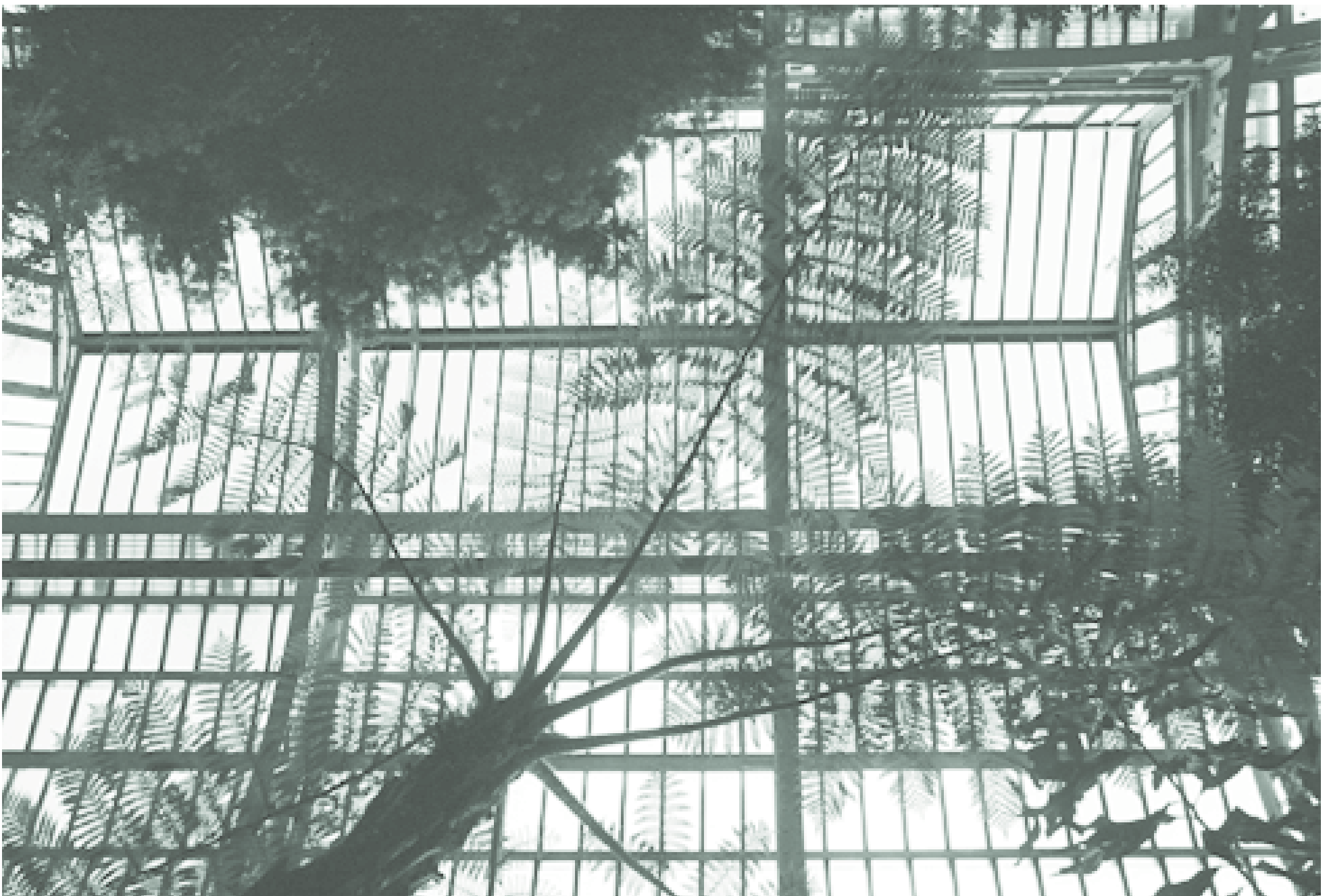
Là aussi les progrès ont été spectaculaires ! La fixation de l'azote a lieu essentiellement dans des structures particulières (nodosités) qui sont de véritables organes localisés dans les racines des

légumineuses (luzerne, trèfle). Ces organes abritent une bactérie (rhizobium) initialement présente dans le sol et capable de fixer l'azote moléculaire. L'infection exige un dialogue chimique d'une subtilité fine qui s'établit entre l'hôte et la bactérie. Ce dialogue a été décrypté par l'équipe de Jean Dénarié (INRA) à Toulouse. Des signaux chimiques sont émis dans le sol par les racines de la plante et parmi eux un flavonoïde. Ces signaux induisent chez le Rhizobium l'expression de gènes particuliers (gènes *Nod*). Ces gènes codent pour plusieurs protéines impliquées dans la synthèse d'un lipo-polysaccharide complexe qui servira de signal à son tour pour déclencher l'organogenèse des nodosités chez la plante hôte. A la fin les bactéries s'implanteront dans les nodosités en pénétrant dans les racines via les poils absorbants. Il s'agit là d'une symbiose parfaite. La plante fournit à la bactérie l'énergie nécessaire à son propre métabolisme et notamment pour la fixation de l'azote moléculaire (ce qui est un véritable tour de force compte tenu de la stabilité de ce gaz!). En retour la plante recevra de la bactérie un apport non négligeable en azote réduit.

Plaidoyer pour la systématique

Cette discipline a décliné en France à partir de la deuxième moitié du vingtième

siècle. Elle est à l'heure « à bout de souffle ». Déjà cette science n'est plus enseignée dans certaines universités. Les crédits alloués pour la faire vivre et s'épanouir sont dérisoires. Elle subsiste cependant dans le cadre de nombreuses associations naturalistes souvent actives et déconnectées le plus souvent du tissu universitaire. Quel contraste avec l'âge d'or de la systématique que fut le XIX^e siècle et qui a conduit à l'éclosion des grandes flores que nous connaissons et en particulier la flore complète illustrée en couleurs de France, Suisse et Belgique de Gaston Bonnier ! Un fossé d'incompréhension s'est progressivement creusé entre la plupart de ces naturalistes qui se sentent rejetés et la recherche moderne. Elle se traduit, en particulier, par une opposition virulente aux OGM ! Ce déclin de la systématique est profondément regrettable car cette science au service du développement durable contribue de plus en plus à évaluer l'impact de l'économie humaine sur la biodiversité en grande partie menacée. Elle représente également une étape incontournable pour mieux comprendre le comportement des plantes dans leur milieu naturel. La systématique doit retrouver la place qu'elle n'aurait jamais dû perdre et je suis sûr que les outils modernes de l'informatique et de la biologie moléculaire viendront l'épauler dans son renouveau. Puisse-nous être entendus ! ■



Les aventures d'une pomme de terre

Il y a cent vingt ans, la variété de Pomme de terre « Institut de Beauvais » était mise au commerce simultanément par l'exploitation de l'Institut agricole de Beauvais et la Maison Vilmorin.

Elle est donc l'une des plus anciennes variétés inscrites au Catalogue officiel. Elle fut obtenue, de semis, en 1856 par Eugène Chanoine (Frère Eugène-Marie), alors professeur de l'établissement dont il devint directeur quelques années plus tard. Maintenu en collection et constamment sélectionnée jusque vers 1875, elle a figuré ensuite dans les nombreux essais menés à Beauvais pendant une dizaine d'années avant sa mise officielle sur le marché remonte à 1884.

Curieusement et en dépit de l'explicitation associée à son nom à la fois symbole structurel et lieu géographique, et de nombreux documents qui font foi de son origine et de ses conditions de création, sa provenance demeure « inconnue » dans les textes officiels, nonobstant les efforts déployés pour que la vérité soit rétablie, particulièrement au moment de la célébration de son centenaire. On se propose ici de rappeler les caractères et l'importance de cette variété, les conditions de son obtention et les principaux traits de la personnalité remarquable de son créateur, avant de développer une analyse des étapes de sa sélection puis de sa mise sur le marché : plaider pour une reconnaissance tardive d'une création variétale ancienne et injustement non attribuée.



par Christian Féral¹

La pomme de terre « Institut de Beauvais »

C'est une pomme de terre aux tubercules à peau jaune pâle, fine et à chair blanche, généralement très gros et arrondis, ramassés autour des tiges et faciles à récolter. La plante est grande, très vigoureuse, au feuillage vert-clair avec des pétioles rosés. Les folioles sont ovales et larges. Sa floraison, blanche, est très abondante. Elle ne fructifie pas. Sa chair est assez farineuse et se défait un peu à la cuisson. Elle est souvent considérée comme « la reine des purées ».

Elle résiste remarquablement à la sécheresse, ne boule pas et procure un rendement élevé. Sa sensibilité à la plupart des maladies est importante.

Connue aussi sous les noms de « Beauvais », « Beauvette », « Bouvette », « Reine blanche » ou encore « Chardon blanc », elle a eu ses heures de gloire spécialement auprès des producteurs Bretons, dans le Centre et le Sud-ouest de la France ainsi qu'en Afrique du Nord. On en a décrit également une variante colorée, à fleurs violettes, portant le nom de « Roi Gradlon ». Son importance -devenue faible mais non anecdotique- au cours de la période moderne, peut être située par les tonnages de plants certifiés : plus de 14 000 tonnes en 1951, 2000 trente ans plus tard, entre 200 et 300 aujourd'hui, dont les trois quarts destinés à des maraîchers et à des agriculteurs fournissant des marchés locaux ayant ciblé des acheteurs fidèles voire nostalgiques.

Le créateur

Au cours du XIX^e siècle, l'enseignement agricole public ne commença à être véritablement « organisé » qu'en 1848 même si l'école régionale de Grignon, par exemple, avait été créée dès 1829.



Au niveau privé, l'idée de l'implantation d'une école d'agriculture à Beauvais remonte au second quart du XIX^e siècle : les Frères des écoles chrétiennes disposaient déjà d'établissements « généraux » en ville et étaient très sensibilisés aux nécessités d'un enseignement adapté de l'agriculture, spécialement en direction des jeunes ruraux.

Sur le site travaille une personnalité exceptionnelle : Eugène Chanoine (en religion Frère Eugène-Marie) né en 1824. Son directorat est marqué par plusieurs étapes ou événements d'importance, tels que l'acquisition d'un vaste outil expérimental en bordure de plateau picard, la création de la Station

agronomique de l'Oise accompagnée de la parution d'Annales et la constitution d'une véritable équipe enseignante pluridisciplinaire, rapidement rayonnante en interne comme vis-à-vis des partenaires extérieurs. Point d'orgue de sa carrière scientifique : l'obtention de la pomme de terre qui portera le nom de l'établissement qu'il dirigea si longtemps.

Les étapes de la création puis de l'exploitation de la variété

Elles seront retracées à partir des documents disponibles, peu nombreux mais en général explicites, et ce après avoir fait une remarque préalable : l'essentiel des archives de l'Institut - dont

¹ Ancien directeur de recherche à l'INRA, Conseiller du président du Conseil national des programmes.

le courrier- a subi les vicissitudes liées aux trois guerres traversées par l'École. Des documents d'importance ont disparu et il nous a fallu procéder par recoupements ou citations pour en établir l'existence. D'autre part - et ce trait mérite d'être indiqué - Frère Eugène était un homme d'une particulière modestie qui ne voulait pas mettre ses recherches et sa personnalité en avant : c'était l'Institut qui comptait... Il n'écrivit pas sur ses travaux de création variétale, se contentant jusqu'en 1880 d'insérer dans ses tableaux de résultats et ses commentaires une ligne consacrée au « Semis de l'Institut » avant d'oser s'aventurer ensuite jusqu'à la formulation : « Institut de Beauvais (semis) ». S'il est clair que l'on ignore l'origine exacte des graines du fameux « semis », celles-ci provenaient de la Maison Vilmorin, comme un courrier du Frère Eugène à Henry de Vilmorin en témoigne.

Toujours est-il que cet échange entre partenaires ou relations, fréquent dans le domaine de la sélection variétale et considéré comme un élément important de coopération, fut fécond. Le semis eut lieu en 1856 et c'est à partir de 1859 qu'une rubrique le concernant est insérée dans les collections entretenues par l'Institut. Son comportement et ses performances sont explicités par les Annales à la fin des années 1870 : rendement, rusticité (telle que conçue à l'époque), richesse en fécule et taux de déchets. Son classement est particulièrement satisfaisant et les commentaires faits à l'égard de la nouvelle variété sont élogieux. 1884 est l'année de la mise au commerce simultanée par la ferme de l'Institut et la Maison Vilmorin.

La longue carrière d'« Institut de Beauvais » était alors bien commencée.

Vers une reconnaissance de l'origine et de l'obteneur ?

Comme indiqué précédemment plusieurs publications d'importance, anciennes ou modernes, commettent, selon nous, l'erreur d'indiquer pour « Institut de Beauvais » : « variété d'origine inconnue, existait en 1884 dans la collection Vilmorin » ou une formule très voisine, oubliant en tout cas l'existence d'une provenance beauvaisienne. Une telle situation n'est pas unique. La variété « Bonnotte de Noirmoutier » par exemple, dont l'origine était auparavant qualifiée d'« inconnue ».

Ce n'est qu'à l'issue de la première phase de « remontée » de l'École après les dégâts de la Seconde guerre mondiale que des tentatives furent faites mais sans succès. A l'occasion de la célébration du centenaire de la variété, l'opération fut renouvelée et élargie, mais les preuves apportées se

révélèrent, parût-il, insuffisantes en dépit de leur nombre et de la multiplicité des documents présentés.

En résumé, énumérons les éléments les plus favorables dont l'ensemble constitue un faisceau de présomptions largement positif : le nom donné et admis n'est pas équivoque (pensons à de nombreux exemples chez d'autres espèces végétales : blé, avoine ou maïs par exemple), les travaux scientifiques et techniques dans lesquels la variété (ou le semis) est mentionnée sont nombreux et permettent d'utiles recoupements. A notre connaissance ils n'ont jamais été contestés, une personnalité marquante de l'époque, Henry-Louis de Vilmorin attribue expli-

citement la création de cette variété puis sa multiplication au Frère Eugène (conférence du 30 janvier 1888), les continuateurs des recherches du créateur ne reviennent pas, même après sa disparition, sur l'origine de cette variété, enfin la conduite de travaux de sélection menés par plusieurs partenaires à la fois, correspond souvent à une coopération efficace, fréquente encore de nos jours pour l'amélioration de la pomme de terre. Pourrait-on imaginer que l'information erronée à ce sujet, fournie à une époque où les relations entre laïcs et religieux étaient tendues, ait été simplement « recopiée » ensuite lors de la rédaction de documents ? peut-être.

Dans tous les cas, il y a lieu aujourd'hui de rétablir la vérité historique compte tenu des éléments multiples apportés et offerts éventuellement aux échanges scientifiques. Nous proposons la présentation suivante :

Variété de pomme de terre : « Institut de Beauvais »

Origine : « Institut de Beauvais » mise au commerce par cet établissement et par Vilmorin en 1884. Avec mention de son obteneur « Eugène Chanoine » (Frère Eugène-Marie).

Espérons qu'une justice tardive sera enfin rendue à une institution et à une personnalité à l'occasion du cent vingt-tième anniversaire de cette variété ■



Le génome L'humanisation du génome



par Philippe Vernier ¹

Aujourd'hui, c'est en explorant son génome que l'homme part en quête de sa propre nature. Les progrès de l'analyse de la séquence du génome humain, de l'étude du polymorphisme des gènes dans les populations humaines, de la liaison des polymorphismes à des pathologies multiples, accréditent l'idée que le long texte génomique recèlerait les secrets de notre "humanité". On peut n'y voir qu'un nouvel avatar de l'injonction platonicienne ("Connais-toi toi-même"). L'entreprise recèle aussi, si l'on n'y prend pas garde, un risque fort de confusion – et de collusion – malencontreuse entre une approche génétique de l'évolution humaine et une interprétation réductrice des comportements humains.

¹ Directeur du laboratoire "Développement, Evolution, Plasticité du Système Nerveux" Gif-sur-Yvette.

² Voir sur site internet la bibliographie complète.

Le raisonnement qui justifie l'analyse des fondements génétiques de l'origine de l'homme est simple et s'appuie sur la plus stricte orthodoxie darwinienne. Puisque l'espèce humaine et tout ce qui est humain est un résultat de l'évolution et de la sélection naturelle, puisque les mutations des gènes sont le moteur de l'évolution, le génome humain doit conserver quelques traces des différences sélectionnées au cours des événements qui ont conduit à séparer l'espèce humaine de ses cousins hominidés, chimpanzés, gorilles et orangs-outans. Dès lors qu'il devient possible de comparer un à un les gènes humains à ceux de ces grands singes, il doit être également possible d'identifier les gènes qui déterminent les caractères typiquement humains et les distinguent de leurs singes cousins. Identifier la part d'humain dans ce génome hérité d'un ancêtre primate est devenu l'un des "Graal" de la biologie contemporaine. Cette entreprise s'est longtemps heurtée à la contradiction issue des calculs de M.C. King et A.C. Wilson, selon lesquels les séquences des protéines de l'homme et du chimpanzé ne différaient que de 1 % en moyenne².

Une première solution, depuis longtemps proposée pour résoudre ce paradoxe, serait, qu'un petit nombre de gènes entièrement nouveaux émergeraient dans le lignage de l'*Homo sapiens*, une création en quelque sorte, conférant à l'homme ses extraordinaires capacités cognitives et sociales. La découverte dans quelques espèces comme la drosophile, la souris ou l'homme de gènes effectivement "nouveaux", c'est-à-dire

des gènes n'ayant aucun équivalent dans les autres espèces, a ravivé cette hypothèse. Plusieurs mécanismes peuvent conduire à la formation de néogènes. Par exemple, la transmission horizontale de fragments d'ADN ou d'ARN transposables d'une espèce à l'autre, ou la génération de séquences nouvelles dans les "pouponnières" du génome (lieux particuliers du génome où l'ADN est facilement et abondamment remanié) ont été associés, dans quelques cas bien argumentés, à l'émergence d'une nouvelle espèce. Néanmoins, bien que ces néogènes puissent s'exprimer sous forme de protéine ou de petit ARN régulateur, les conséquences de cette expression pour la physiologie des organismes restent obscures.

Un deuxième aspect de cette quête par laquelle l'espèce humaine cherche à se démarquer d'une animalité jugée embarrassante, est la recherche des gènes et des mutations ces gènes qui contribueraient à construire les caractéristiques physiologiques ou les comportements spécifiquement humains. Cette démarche est illustrée par l'identification du gène *FoxP2*, dont certains auteurs voudraient faire le gène du langage dans l'espèce humaine. Des mutations de ce gène sont effectivement associées à un syndrome malformatif congénital comprenant des troubles sévères de l'articulation du langage². *FoxP2* est-il pour autant "un gène du langage"? Cette hypothèse tellement séduisante a été confortée par la découverte d'une évolution rapide du gène *FoxP2* dans l'espèce humaine, et d'un polymorphisme du gène que l'analyse phylogénétique fait remonter à 200 000 ans. Comme c'est précisément la période pendant laquelle l'homme moderne serait apparu, il était facile de voir en *FoxP2* l'un des gènes-clés de l'humanisation. Ce raccourci cache pourtant

une forêt de problèmes. Il est bien sûr possible que des modifications de la fonction de *FoxP2* aient joué un rôle dans toutes les modifications anatomiques, physiologiques et comportementales qui ont conduit à l'émergence du langage. Cependant, le gène *FoxP2* s'exprime très largement dans le cerveau, et pas seulement dans les aires cérébrales connues pour participer aux divers aspects du langage². De plus, si le nouveau-né humain possède bien la capacité de parler, le langage doit être appris, grâce aux interactions de toutes natures échangées avec les parents et les personnes de l'environnement proche. Cet apprentissage nécessite la combinaison de fonctions sensorielles, motrices et cognitives qui impliquent une grande partie du cerveau et de la sphère oro-faciale. La construction et le fonctionnement de ces structures nécessitent l'action de nombreux gènes différents. Enfin, bien d'autres gènes autres que *FoxP2* présentent aussi des polymorphismes apparus depuis quelques centaines de milliers d'années, sans pour autant qu'ils soient à l'évidence des gènes de l'humanisation. Il n'y a pas aujourd'hui d'argument convaincant pour admettre que la nature humaine, pas plus que celle d'une souris, ou d'une mouche, soit déterminée par quelques gènes spécifiques.

Une troisième hypothèse est explorée par les généticiens de l'humanisation. La majorité des différences qui existent entre les séquences de gènes homologues présents dans des espèces distinctes est due à l'accumulation progressive de mutations généralement neutres (sans conséquence fonctionnelle), depuis que les espèces issues de l'espèce ancestrale commune se sont séparées les unes des autres. Il n'est pas besoin ici de nouveaux gènes pour créer la nouveauté, puisque c'est la façon



dont les gènes s'expriment qui font la différence. Les changements de la séquence des gènes peuvent affecter les fonctions des protéines qu'ils codent, mais aussi en modifier la quantité, augmenter ou réduire le temps pendant lequel ce gène s'exprime dans un tissu, modifier la nature et le nombre des cellules où ce gène est actif. Les conséquences de ces mutations et de ces différences dans l'expression des gènes sont des modifications dans la structure des organes du corps et dans leur activité, en particulier dans le système nerveux. En suivant ce raisonnement, W. Enard, S. Pääbo et leurs collaborateurs de l'Institut Max Planck de Leipzig, ont mesuré les différences des taux d'expression d'environ 12000 gènes (soit près de la moitié des gènes transcrits chez les primates) dans plusieurs organes prélevés chez des macaques, des chimpanzés, et des hommes. En dehors de la prouesse méthodologique, ce travail a confirmé les données accumulées par un siècle et demi d'observations et d'analyse paléontologique, génétique, biochimique et psycho-physiologiques, c'est-à-dire que l'homme est phylogénétiquement plus proche du chimpanzé que du macaque. Cependant, les résultats obtenus ont été plus loin en montrant, cette fois-ci sur 18000 gènes, que c'est dans le cerveau qu'existent les plus grandes différences d'expression géni-

que entre l'homme et les autres primates. Si le rapport entre l'expression des gènes chez l'homme d'une part et le chimpanzé et le macaque d'autre part est affecté d'un facteur 1 dans les leucocytes, il est d'un facteur de 1,3 dans le foie, mais de 5,5 dans le cerveau, supérieur même aux différences entre chimpanzé et macaque².

Ces différences traduisent à l'échelon moléculaire (le transcriptome), les particularités embryologiques et anatomiques du cerveau humain, au rang desquelles il faut compter un fort degré d'encéphalisation, proportionnellement plus important que dans les autres espèces d'hominidés vivants ou fossiles. La taille des régions antérieures ou de certains noyaux du cerveau est aussi particulièrement grande chez l'homme. Ces changements globaux de la taille du cerveau sont associés à la longue durée du développement cérébral post-natal (néoténie), et à l'existence de migrations et de connexions neuronales spécifiques. Ces particularités anatomiques sous-tendent un ensemble de fonctions cognitives et de capacités d'adaptation cérébrales qui caractérisent l'espèce humaine. Le mode de vie et l'organisation sociale des premiers hommes a contribué à la sélection des fonctions cérébrales qui permettent de se représenter le monde, de le mémoriser, d'inférer, de prévoir, de comprendre et de

parler comme des êtres humains. Dans ce contexte, l'intérêt des approches génétiques et génomiques appliquées à l'évolution de l'homme et des populations humaines est considérable. Il faut cependant considérer avec prudence – ou vigilance – certaines interprétations, souvent réductrices, parfois idéologiques. Nul ne doute aujourd'hui que le génome détermine la construction de l'embryon et définit, pour l'organisme d'une espèce donnée, le "champ des possibles". En revanche, le long développement post-natal du cerveau humain, sa plasticité, donne à l'apprentissage, à l'éducation, à l'expérience, au milieu, une influence déterminante sur l'organisation et le fonctionnement cérébral. Ils forment une image du monde et du soi qui orientent fortement les comportements individuels. Bien plus, ces comportements façonnent un environnement matériel, un entourage social, une culture qui à leur tour contribuent à construire d'autres personnalités, ressort d'une autre évolution, culturelle cette fois.

Chacun, généticien, physiologiste, embryologiste, psychologue, anthropologue, tend à voir midi à sa porte. Mais il est parfois nécessaire de faire le tour du village pour chercher chez le voisin les éléments de contradiction, les informations qui éclairent la lancinante question des origines de l'homme. Inlassa-

blement, il faut remettre l'homme, non pas au centre, mais à sa place dans la nature, à la fois semblable aux autres espèces et tellement différent. L'illusion physicaliste de pouvoir comprendre l'homme et la "nature" humaine à partir de la seule étude des séquences génomiques ressemble assez à l'histoire du Golem, cet homme dont la légende dit qu'il a été construit à partir d'une combinaison des lettres de la Bible. Gustav Meyrink précisait qu'il n'était pas pourtant un homme comme les autres, et il était à peine animé d'une vie sourde et végétative. On sait ce qu'il advint du Golem, "rachimique figure de boue, qu'aujourd'hui encore on montre à la synagogue de Prague" ■

Bibliographie : Brosius J. 2003, The contribution of RNAs and retroposition to evolutionary novelties. *Genetica*. 118 : 99-116.

Enard W, Khaitovich P, Klose J, Zollner S, Heissig F, Giavalisco P, Nieselt-Struwe K, Muchmore E, Varki A, Ravid R, Doxiadis GM, Bontrop RE, Paabo S. 2002 Intra- and interspecific variation in primate gene expression patterns. *Science*. 296 : 340-343

Ferland RJ, Cherry TJ, Preware PO, Morrisey EE, Walsh CA. 2003, Characterization of *Foxp2* and *Foxp1* mRNA and protein in the developing and mature brain. *J Comp Neurol*. 460 : 266-279.

King, MC & Wilson AC, 1975, Evolution at two levels in humans and chimpanzees. *Science*, 188 : 107-116

Lai CS, Fisher SE, Hurst JA, Vargha-Khadem F, Monaco AP. 2001, A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder. *Nature*. 413 : 519-523

Nahon J.-L., 2003, Birth of 'human-specific' genes during primate evolution. *Genetica*. 118 : 193-208

Enseignements scientifiques et enseignements technologiques : des méconnaissances réciproques et trop de divergences¹...



par Yves Malier²

Le parti pris de cette note est de parler largement des enseignements que l'on appelle encore usuellement enseignements techniques et professionnels, en se concentrant plus particulièrement sur l'enseignement secondaire.

Le sujet est d'importance. Rappelons, pour l'introduire, quelques chiffres essentiels³. Chacun sait assez bien que les lycéens des enseignements scientifiques représentent un flux de 155 000⁴ élèves, environ, en classe terminale.

Beaucoup moins savent que, à côté, les sections technologiques de nos lycées accueillent 180 000⁵ lycéens en terminale, auxquels on doit raisonnablement ajouter près de 12 000⁶ lycéens de classes équivalentes mais situées, elles, dans les établissements des spécialités agroalimentaires placés sous la tutelle du ministère de l'Agriculture.

Très peu, peut-être, mesurent le nombre d'élèves des lycées professionnels où, toujours en flux, 290 000⁷ lycéens sont élèves de terminale de BEP ou de Bac professionnel auxquels, pour bien fixer les comparaisons, il convient de rajouter le flux des 33 000⁸ élèves de ces mêmes classes terminales, pris en charge par les établissements du ministère de l'Agriculture.

Tous calculs effectués et pour nous résumer simplement, on a donc en année terminale :

- 155 000 élèves en sections scientifiques,
- 192 000 élèves en sections technologiques,
- 323 000 élèves en sections professionnelles,

auxquels on pourrait ajouter environ 35 000 jeunes en fin d'apprentissage de même niveau. Bien sûr, pour être complet, on peut aussi rappeler que, respectivement, 59 000 et 97 000⁹ lycéens effectuent leur année de terminale en sections littéraires ou en sections économiques et sociales.

Aujourd'hui, c'est aux élèves des sections technologiques et aux élèves des sections professionnelles que je souhaite « donner la vedette » après avoir rappelé deux évidences douloureuses :

- pour une très grande majorité d'entre eux, c'est une situation d'échec scolaire précoce, plus ou moins grave et à l'origine souvent très mineure et réparable, qui est la cause principale de cette « orientation » vers le Technologique ou le Professionnel ;
- une fois la réorientation décidée, pour une majorité d'entre eux, la spécialité technologique ou professionnelle choisie, à l'exception des spécialités agroalimentaires, n'est pas celle de leur premier choix ni, assez souvent, celle de leur second choix.

Bref, à raison, sans doute, de beaucoup plus de 200 000 lycéens par an, le système chargé de les préparer à la vie semble avoir choisi de briser une part très riche de leur personnalité et de leur motivation pour créer ensuite les conditions favorables à leur formation : quel défi contre nature ! Quel handicap majeur pour notre système éducatif ! Quel risque d'amplification de l'échec initial pour nos jeunes !

Un tel phénomène n'étant pas constaté avec la même ampleur dans les pays comparables au nôtre, interrogeons-nous d'abord pour savoir si, en France, il en a toujours été ainsi.

Les leçons de l'Histoire sont toujours de très bonnes leçons... encore faut-il, pour les tirer, connaître l'Histoire ! Dans ce but, rappelons l'organisation des Enseignements techniques et professionnels français de 1890 à 1965, c'est-à-dire durant une période où ils ne firent l'objet d'aucune véritable politique générale. Ils furent, en fait et pour l'essentiel, le fruit de la réflexion et de l'action de pédagogues passionnés et convaincus, et d'industriels particulièrement attachés, en pleine mécanisation taylorienne, au rôle de l'homme. Ils furent aussi le résultat de collaborations, le plus souvent très positives, entre le ministère en charge de l'instruction publique et d'autres ministères dont les plus actifs, sur ce

³ Tous les chiffres cités dans cette note sont extraits de Repères et Références statistiques 2003 sur les enseignements, la formation et la recherche (RERS) Ministère de la Jeunesse, de l'Éducation et de la Recherche - Direction de l'évaluation et de la prospective - Bureau de l'édition - édition septembre 2003.

⁴ In RERS, page 101

⁵ In RERS, page 105

⁶ In RERS, page 123

⁷ In RERS, page 93

⁸ In RERS, page 123

⁹ In RERS, page 101

¹ Séance commune Académie des sciences et Académie des technologies qui s'est tenue le 2 décembre 2003 à l'Institut de France

² Professeur à l'ENS de Cachan, Membre de l'Académie des technologies

sujet, furent, souvent, les ministères en charge du commerce, de l'industrie, des travaux publics, de l'agriculture ou encore, de la défense et de la santé.

S'agissant de l'enseignement technique au sein de l'Éducation nationale, les centres d'apprentissage, les lycées techniques et les Écoles Nationales Professionnelles (E.N.P.) ont longtemps représenté trois niveaux clairement hiérarchisés entre lesquels existaient de nombreuses passerelles dont l'accès, largement ouvert, se gagnait au mérite. Ainsi, l'accès au troisième niveau, celui des E.N.P., se faisait sur concours nationaux ouverts, de fait, aux enfants des familles modestes des écoles primaires, puis des « cours complémentaires » pour une part de l'effectif, l'autre part venant, via les passerelles précédemment évoquées, des centres d'apprentissage et des lycées techniques.

Au sein des douze E.N.P. réparties sur le territoire national, une moitié des élèves avait droit à la voie d'excellence, permettant de préparer simultanément le brevet de technicien (diplôme de référence des E.N.P.) et le baccalauréat technique. Ensuite 80 % de ces « doubles diplômés » constituaient la plus large part des élèves ingénieurs des Écoles d'Arts et Métiers (dont on ne soulignera jamais assez le rôle d'ascenseur social rempli en cette longue période). Parmi les 20 % restant, beaucoup allaient vers les deux E.N.P. particulières (Reims et Lyon) où se préparaient le concours spécifique unique permettant l'accès à la plupart des autres Grandes Écoles « classiques » (Polytechnique, Mines, Ponts, Centrale,...) et le concours propre à l'École Normale Supérieure de l'Enseignement Technique (devenue depuis l'École Normale Supérieure de Cachan). S'agissant des passerelles, leur excellente efficacité était à la mesure du nombre important de titulaires de C.A.P. ou de brevets de technicien de l'époque qui sont aujourd'hui directeurs de laboratoires de recherche réputés, médaillés du CNRS, ou, bien sûr et plus naturellement, directeurs généraux de grands groupes industriels ou encore fondateurs et dirigeants de PME innovantes.

Dans tous ces Établissements techniques et professionnels, les élèves étaient heureux et ne vivaient pas mal cette scolarisation pourtant à part du système général. Des critères quasi uniquement sociaux leur avaient réservé cette voie sans en faire en aucune façon des « laissés pour compte » de la voie classique. Par ailleurs, leurs professeurs, dans l'ensemble,

excellamment recrutés et préparés aux spécificités de l'Enseignement technique et professionnel, contribuaient particulièrement à l'équilibre de ces formations.

L'erreur profonde – les scientifiques diraient plutôt la bifurcation d'équilibre – vint brutalement, au milieu des années soixante, quand les habiles conseillers de plusieurs ministres successifs voulurent réformer ce système, sans, peut-être, suffisamment d'observation et d'analyse préalables. Le réformer car, dans le même temps, arrivait la première vague démographique des adolescents nés après la guerre. Bien sûr, par ailleurs, la grande compétence de pédagogue de ces conseillers n'allait peut-être pas jusqu'à leur donner la mesure du rôle que ces formations jouaient dans le développement de la vie industrielle et de la vie économique du Pays. Plus académiquement, il apparaissait à ces conseillers que les Enseignements techniques et professionnels, apparemment efficaces puisqu'on en parlait peu ou pas du tout, feraient un excellent et nécessaire exutoire pour l'Enseignement général, soudain confronté à l'arrivée d'un grand nombre de lycéens.

Ainsi, par exemple, sans que soit regardé ni donc compris le rôle d'entraînement, de pilote et de formidable outil de promotion, pour tout le système, que jouaient localement, régionalement et nationalement, les Écoles nationales professionnelles, il fut décidé, sous le prétexte d'égalité et de simplification que personne ne réclamait et qui n'allait être que théorique, de ramener ces écoles au rang de « gros » lycées techniques ordinaires et de supprimer les différents concours de recrutement et « passerelles » qui y donnaient accès. En coupant sa tête, on lançait ainsi tout le système de la formation technique et professionnelle dans l'errance mais, bien sûr, quelles larges perspectives pour l'accueil des redoublants et des difficiles des lycées classiques se trouvaient alors immédiatement créées.

Très vite les résultats furent édifiants et, bien sûr, catastrophiques !

En effet, dans le même temps où l'on proclamait que désormais serait réduite l'influence des facteurs sociaux qui orientaient vers les Enseignements techniques et professionnels, on installait, de fait, des critères culturels, dissimulés ou non, bien plus injustes encore. La « sélection positive » caractéristique du système antérieur, « sélection positive » qui avait

prévalu pendant plus de 60 ans, serait désormais remplacée par une « sélection par l'échec », très négative et laissant beaucoup de nos jeunes déçus, désabusés, démotivés et, ce qui est peut-être le plus grave à cet âge, très souvent profondément et viscéralement complexés et blessés.

Aujourd'hui, ce système perdure, malgré tous les discours et les très sincères bonnes volontés développées depuis quarante ans !... Ainsi, que dois-je dire aux trois jeunes rencontrés il y a peu, souhaitant faire par goût pour la matière et attirance pour le métier, un B.E.P. de menuiserie ébénisterie – secteur qui manque cruellement de jeunes – et renvoyés par les errements de l'orientation scolaire et, bien sûr, sans aucune explication, vers un B.E.P. de boucherie pour l'un et de chaudronnerie pour les deux autres ? Qui condamner si, dans trois mois ou dans deux ans, ces mêmes jeunes brisent les vitres de leur lycée professionnel, agressent leurs professeurs, affirment ne plus faire confiance à la Société et, plus grave encore, écoutent des sirènes, toujours à l'affût, les engageant vers un avenir funeste ou dangereux ? Chacun sait bien qu'un problème d'éducation mal résolu est le plus souvent l'origine vraie d'un problème de société grave.

Par ailleurs, sur le plan de l'image, si importante aujourd'hui, tout parent d'élève, où qu'il soit, peut spontanément citer plusieurs lycées réputés pour la qualité de leur formation scientifique, d'autres lycées pour la qualité de leur formation littéraire ; depuis la fermeture des Ecoles nationales professionnelles, personne ne peut plus le faire pour la technique ; pire encore, quand on fait référence parfois à de « gros » lycées techniques, on s'exprime toujours, comme les conseillers des ministres de la décennie 60, en terme de quantité (nombre d'élèves, nombre de formations) mais jamais, comme pour les autres lycées, en terme de qualité et bien sûr, jamais ou très rarement en terme de référence positive aux « métiers » préparés.

À partir de ces constats, constats choisis parmi beaucoup d'autres aussi significatifs, apparaît la nécessité de changements assez profonds avec un retour à des valeurs clairement identifiées. Beaucoup d'erreurs ont été commises à l'égard des Enseignements techniques et professionnels, du fait de confusions profondes entre les dimensions sociales, culturelles, psychologiques (et l'oubli, parfois à tour de rôle, de certaines d'entre elles). Beaucoup

d'autres erreurs ont résulté d'une volonté, quasi malade, de couler ces structures de formation dans le moule général propre aux lycées classiques, parfois même en dissimulant avec cynisme la paresse ou la faiblesse de la réflexion derrière le pieux souci, si souvent mis en avant, de contribuer ainsi à « redorer l'image des sections techniques et professionnelles ». Non adaptation à la personnalité du lycéen et à son vécu, efficacité parfois très moyenne de la professionnalisation, ambiance agressive et difficile, etc, ... ne sont alors, le plus souvent, que des prévisibles conséquences de ce mauvais choix initial.

Aujourd'hui, il ne peut plus être fait l'économie d'une réflexion globale dont, on le voit bien, les résultats seront longs à généraliser car il ne saurait être question non plus d'un retour au passé alors que tant de paramètres ont changé. Face à ce long terme qui tient aussi à la rigidité de tout le système, il m'apparaît, en parallèle, qu'aucune action opportuniste, qu'aucune expérimentation (à la condition qu'elle soit évaluée objectivement avant d'être étendue) ne sont à négliger pour conduire au réveil des consciences, à la libération des compétences et des très nombreuses bonnes volontés qui existent chez une grande majorité de professeurs soucieux de parvenir à mieux éduquer et à mieux former.

Les thèmes de réflexion liés à ces actions et à ces expérimentations, dont le principe vient d'être évoqué, ne manquent pas. Parmi d'autres, on peut citer, la nature des relations et des échanges avec les milieux socio-économiques, les contenus culturels et les contenus professionnels des formations, les pédagogies adaptées à la découverte de « métiers » et non pas seulement, comme c'est trop le cas aujourd'hui, à la connaissance de « techniques », la refonte de certains de nos systèmes d'orientation, l'enseignement du goût et de l'esprit entrepreneurial, les modes d'évaluation des acquis, la refonte des modes de recrutement et de formation des professeurs, le remodelage du processus d'évaluation de leur carrière, etc.



Évidemment ces réflexions peuvent nous éloigner beaucoup de l'image de l'Enseignement technique et professionnel considéré d'abord par certains comme l'outil le plus performant pour rehausser fortement les statistiques du nombre de bacheliers au sein d'une classe d'âge! Ce n'est assurément pas la priorité qui vient à l'esprit quand on visite sérieusement un établissement d'enseignement technologique et que l'on dialogue avec les élèves et avec leurs professeurs les plus dévoués!

Les enjeux sont évidemment considérables. Ils touchent à des axes essentiels de l'équilibre de notre pays : le dynamisme et l'envie d'oser de nos jeunes, la préparation à l'emploi, la pérennité de notre tissu de P.M.E., mais aussi l'équilibre social de nos quartiers, la continuité du dialogue entre les générations, la capacité d'intégration de notre Société. Observons, au passage, que l'on n'ose jamais dire que, en plus de toutes les autres missions, s'agissant des jeunes, c'est le

Technique et le Professionnel, avec leurs professeurs méritants et non formés à ce défi supplémentaire, qui assurent l'essentiel ou en tous cas la plus lourde charge d'intégration des adolescents d'origine étrangère. Aussi, pour moi, c'est en fait une demi-douzaine au moins de nos grands ministères et la plupart de leurs secrétariats d'État qui, de fait, ont résolution des problèmes réels de l'Enseignement technique et professionnel, toujours déclaré prioritaire, depuis

trois décennies mais rarement réfléchi en tant que tel dans sa globalité et donc, jamais sérieusement réformé.

Bref, le chantier est vaste. Sans doute bien trop vaste pour le seul ministère en charge de l'Éducation nationale car les problèmes posés sont des problèmes très transversaux qui interpellent tous les fondements de notre Société. Il ne fait aucun doute que le Ministre qui aura le courage et la modestie d'admettre que ces problèmes

ne trouveront pas leur solution dans les idées de ses seuls pédagogues, fera preuve de beaucoup de réalisme car il aura su tirer les leçons de trente années de « tentatives internes » le plus souvent bien conduites mais à peu près toutes aussi infructueuses les unes que les autres.

Aura-t-il ensuite encore assez de modestie pour faire appel à certains de ses collègues ministres, aux acteurs socio-économiques notamment aux plus méritants et aux plus brillants de ceux issus des Enseignements techniques et professionnels qui n'ont jamais eu la parole sur les réformes relatives aux cursus auxquels ils doivent tant, aux organisations professionnelles, et à tous ceux qui, en dehors de l'école aussi, peuvent avoir une réflexion affirmée pour que s'élabore enfin, via des phases de court, de moyen et de long termes, un projet issu de la réflexion de toutes les forces vives du Pays ?

S'il en était ainsi, ce Ministre ferait faire, sans doute au même titre que celui qui, jadis, décida de l'instruction obligatoire, un sérieux bond en avant au Pays tout entier.

Peut-être, maintenant, me permettez-vous d'être très concret et, par exemple, d'analyser les conséquences de la large disparition de la recherche pédagogique finalisée appliquée aux disciplines scientifiques et technologiques. Cette recherche appliquée a longtemps été conduite, dans le passé, pour les Sciences, dans les Écoles Normales Supérieures – notamment à Saint-Cloud –, dans certains Instituts Préparatoires à l'Enseignement Secondaire (IPES) et, on l'oublie trop souvent, dans beaucoup d'Écoles Normales d'instituteurs. Pour les spécialités technologiques, le même travail était conduit à l'E.N.S.E.T. de Cachan, dans les six Écoles Normales Nationales d'Apprentissage et dans la vingtaine de Centres de Formation des Professeurs Techniques. Les résultats de ces recherches très appliquées étaient, le plus souvent, expérimentés sur des classes pilotes ordinaires et, s'ils étaient validés, rapidement enseignés

aux jeunes futurs professeurs. Les méthodes d'enseignement qui ont découlé de ces recherches très finalisées ont, durant des décennies, contribué à asseoir la qualité et l'efficacité de nos formations scientifiques et technologiques dans nos collèges et lycées, généraux et techniques, dans nos classes préparatoires, dans nos classes de BTS et IUT et même dans nos DEUG scientifiques. Qui aujourd'hui, même au sein de nos Académies, alors que 89 000¹⁰ étudiants sont en formation de maîtres, sait citer précisément les IUFM où s'élaborent, grâce à une recherche structurée et appliquée à telle ou telle spécificité disciplinaire, les méthodes pédagogiques les plus performantes pour enseigner telle science ou telle technologie ?

En corollaire, je ne suis pas loin de penser que, peut-être, autant que le rejet des Sciences, ce qui a le plus freiné la pénétration, en ses débuts, de la très remarquable « Main à la Pâte » de Georges Charpak, de Pierre Léna et d'Yves Queré est le fait que cette action dérangeait en proposant, de fait, une voie de recherche pédagogique très finalisée à un milieu, celui de nos Instituts Universitaires de Formation des Maîtres qui, à l'exception de quelques excellents professeurs marginaux, n'avaient pas conduit, depuis de très longues années, des actions de recherche appliquée de ce type.

Toujours de ce point de vue, l'indigence actuelle de la recherche pédagogique finalisée dans le secteur des formations technologiques et professionnelles est, pour moi, une cause essentielle, à côté bien sûr d'autres causes, notamment psychologiques, culturelles et sociales, des difficultés, en France, de ces types d'enseignement.

Dans ce débat, il faudrait aussi analyser et vous montrer combien est gravement sclérosé le mode de recrutement des professeurs des disciplines technologiques, tellement sclérosé que nous sommes le seul de tous les grands pays industrialisés à s'interdire de fait, depuis 20 ans, de recruter largement une part de ces enseignants, comme nous le faisons par le passé, parmi les professionnels ayant acquis, sur le terrain, la connaissance d'un métier, notamment aussi dans toutes ses dimensions humaines et sociales.

Dans le même temps, chacun peut observer, dans les autres pays compa-

rables au nôtre et aux même niveaux de formation, la richesse apportée par les croisements des origines du corps enseignant, croisements qui sont les meilleurs garants de la qualité de la relation entre monde éducatif et monde socio-économique et qui vont tant contribuer, pour le jeune, à un passage harmonieux entre sa vie scolaire, sa vie professionnelle et sa vie sociale.

Avant de conclure, j'aurais aussi souhaité dire combien, à mon point de vue, les démarches pédagogiques conduites, avec succès, par d'autres ministères, en matière de formation, mériteraient d'être mieux analysées. Ainsi, pour ne prendre qu'un seul exemple mais relatif à des effectifs considérables et des moyens qui ne sont pas supérieurs à ceux de l'Éducation nationale, le ministère de l'Agriculture réussit, le plus souvent, ses formations d'ouvriers qualifiés, de techniciens et de techniciens supérieurs et cela à partir d'un recrutement pourtant difficile ou très difficile. Ce ministère parvient à développer des parcours individualisés épanouissants bien loin du concept du collège unique. Il en résulte des pédagogies actives portées par des enseignants aux origines très diversifiées. Chez la quasi-totalité des élèves, on observe un réapprentissage formidable du goût du travail, de l'amour du métier et de l'ambition de la réussite qui fait très souvent de ces écoles, aujourd'hui, comme l'ont été les ENP et les Écoles d'Arts et Métiers dans le passé, de véritables, mais bien isolés, moteurs d'ascenseur social pour toute une catégorie de jeunes pourtant, a priori, moins favorisés.

Il y a quelques semaines, notre ministère des Affaires Sociales faisait le constat de l'absence de jeunes candidats à près de 400 00 emplois d'ouvriers qualifiés et de techniciens dont beaucoup de ces emplois, pérennes, étaient pourtant convenablement rémunérés et porteurs de perspectives d'avenir notamment au sein du tissu national des PME. L'analyse de la plupart de ces emplois explique clairement les absences ou les insuffisances de candidatures constatées : en effet, le système éducatif n'a pas su former les jeunes dans ces spécialités, en tout cas pas en nombre suffisant. Peut-être plus grave, ce système n'a pas su expliquer aux jeunes que ces métiers existaient et offraient de bonnes perspectives d'épanouissement. Aussi, de la même façon que la « Main à la Pâte » va incontestablement réhabiliter, dès l'école élémentaire, l'image de la Science, il est urgent de créer un autre puissant outil pour réhabiliter, au sein du système

éducatif, l'image des métiers dans leurs dimensions traditionnelles, actuelles et, bien sûr, futures.

En conclusion et en continuant de m'exprimer à titre personnel, je voudrais souligner un point qui me tient à cœur. Ainsi, je voudrais dire qu'à côté de l'intérêt commun de nos deux Académies pour les plus jeunes, ceux de l'école élémentaire, et pour les plus brillants, ceux de nos meilleures sections scientifiques, il serait sans doute important que nos représentants les plus convaincus s'associent pour montrer aussi notre intérêt pour les plus abandonnés du système éducatif et pour leurs professeurs, le plus souvent très méritants. Alors que, par ailleurs, on déplore tous la stagnation du nombre de nos jeunes scientifiques, laisser trier par le premier échec scolaire (souvent mineur et très rattrapable comme on l'a déjà dit) et laisser mettre à l'écart des formations scientifiques, tous les ans, plusieurs centaines de milliers de jeunes en les culpabilisant, est un gâchis psychologique, social et économique. Notre pays ne peut continuer de feindre d'assumer cette situation.

En termes voisins, pourquoi laisser penser à tous les jeunes de France âgés de 15 ou 16 ans, comme c'est trop le cas aujourd'hui, que l'ouverture des portes du Technique et du Professionnel, ne peut être en soi un projet personnel gratifiant et ne peut résulter que de la fermeture des portes de l'Enseignement scientifique ? Cela traduit une conception de l'éducation et, plus généralement, une compréhension de notre société contemporaine erronée, dépassée et très lourde de conséquences pour le devenir de nos jeunes.

Bien sûr, il n'appartient pas à nos Académies de se substituer à telle ou telle instance. Par contre, fort de l'expérience de l'Académie des sciences sur l'école élémentaire, il leur appartient peut être de souligner et d'éclairer quelques-unes des voies nouvelles de réflexion comme celles qui ont été très modestement et très brièvement évoquées aujourd'hui et comme beaucoup d'autres qui auraient pu l'être ou qui auraient dû l'être » ■



Quelques remarques sur les difficultés de la lecture chez l'enfant

par **Pierre Buser**¹

Les enfants dyslexiques inquiètent et sollicitent tout autant leur famille que la société entière. La tâche de dépister leur déficit, puis d'y remédier, doit être une préoccupation majeure, à la frontière de la pédagogie et d'une certaine pathologie. L'enfant dyslexique (il en existe diverses sortes) n'a pas toujours été au fil des années l'objet de suffisamment d'attention. Des erreurs ont été commises et le

sont encore à propos des méthodes d'apprentissage, inspirées souvent par des considérations dogmatiques et des idées théoriques plus ou moins fondées. Il s'avère actuellement très probable que toutes les méthodes imposant d'emblée à l'enfant débutant une opération d'appréhension globale des mots (méthodes dites "globales" ou "semi-globales") sont totalement à proscrire, seule une méthode dite "alphabétique" et de conversion graphèmes-phonèmes pouvant éviter ou

atténuer l'illettrisme chez des sujets à risque, psychologiquement ou socialement. Au versant de la pathologie, d'intéressantes pistes de recherches se situent pour l'heure au niveau neuropsychologique. On tend actuellement à privilégier l'idée que certaines dyslexies, à caractère nettement pathologique, seraient partiellement au moins liées, tantôt à des déficits de l'analyse des signaux visuels (mauvaise perception de la succession des lettres d'une phrase), tantôt à celle

des signaux acoustiques (mauvaise perception des transitoires rapides de la parole) ce qui compromettrait la compréhension, par l'enfant, de ce qu'il lit et de la parole qu'il entend. L'imagerie cérébrale paraît pour l'heure confirmer ces données nouvelles, qui reconnaissent à maintes dyslexies une origine neurologique, éventuellement génétique. Ces acquis récents sont importants, en ce qu'ils ouvrent peut-être des perspectives nouvelles de rééducation. Ce qui n'exclut pas pour autant des cas limites où jouent sans doute d'autres facteurs qui sont, les uns psychologiques, les autres environnementaux et sociologiques ■

¹⁰ Membre de l'Académie des sciences, professeur émérite à l'Université Pierre et Marie Curie, Membre de l'Observatoire national de la Lecture. Les opinions exprimées dans ce texte n'engagent cependant que la seule responsabilité de l'auteur.

Prix scientifique 2004

Appel à candidatures

Créée en 1999, la Fondation NRJ de l'Institut de France se fixe pour objet de concourir à la recherche médicale, notamment dans le domaine des neurosciences.

Chaque année, elle attribue, dans le cadre de son objet, un Prix de 100.000 euros destiné à récompenser et encourager des travaux scientifiques mis en œuvre par une personne physique ou un groupe de personnes, dans le cadre d'une institution publique ou privée.

Un jury scientifique, composé de personnalités représentatives de la communauté scientifique et présidé par M^{me} Nicole Le Douarin, Secrétaire perpétuelle de l'Académie des sciences, procède à la sélection du lauréat au vu des dossiers reçus par appel à candidatures.

Le thème retenu pour 2004 est :

« Cellules souches, médecine régénérative et neurosciences »

La Fondation a décidé d'ouvrir largement les candidatures en sollicitant des propositions de directeurs des principaux laboratoires publics et privés des pays de l'Union Européenne et de la Suisse.

Merci de relayer cette information auprès des scientifiques avec lesquels vous êtes en contact et qui vous paraissent susceptibles de concourir pour ce Prix. Ils devront compléter la fiche jointe, le formulaire de proposi-

tion est aussi consultable en ligne à l'adresse suivante :

www.institut-de-france.fr/actualités

Les dossiers sont à retourner, en trois exemplaires avant le 19 mars 2004 au : Secrétariat de la Fondation NRJ-Institut de France

Institut de France

23, quai de Conti

75006 PARIS

Fax : 01 44 41 44 30

fondations@institut-de-france.fr

Institut de France

Fondation Lefoulon-Delalande

Bourses de Recherche 2004

appel à candidatures

Créées en 2001, les Bourses de Recherche de la Fondation Lefoulon-Delalande ont pour but de promouvoir les activités d'un chercheur post-doctorant travaillant à plein temps dans le domaine cardio-vasculaire au sein d'une structure de recherche française (les stages de recherche à l'étranger ne peuvent être retenus).

Le sujet de recherche peut porter sur le développement, la physiologie, les pathologies, l'épidémiologie, les théra-

peutiques médicales ou chirurgicales cardio-vasculaires à l'exclusion des recherches portant sur la cancérologie, l'oncologie, et les maladies métaboliques (le diabète et l'obésité). Une attention particulière sera portée cette année aux travaux de pédiatrie, d'épidémiologie ou des économies de santé.

Le candidat doit être titulaire d'un doctorat en médecine, en sciences ou en pharmacie et d'un diplôme d'étude approfondie ou d'un équivalent.

Six bourses d'un montant de 2290 euros par mois pendant un an seront attribuées au titre de 2004 dans les conditions ci-après :

Dépôt des dossiers : Les dossiers en 12 exemplaires doivent être remis ou adressés au Service des Fondations, Institut de France, 23 quai de Conti, 75270 Paris Cedex 06

Date limite de dépôt des dossiers : lundi 3 mai 2004

Date de décision d'attribution : jeudi 17 juin 2004

Date de distribution des bourses : mercredi 1^{er} septembre 2004

Appel à candidature disponible à l'adresse Internet :

www.institut-de-france.fr/actualites/actua_prixetmecenat.htm#plefoulon

Les relations internationales de l'Académie des sciences

Par **André Capron**¹

Chacun est désormais conscient du rôle essentiel que jouent les relations internationales dans l'identité et l'expression d'une Institution académique.

Contribuer, au-delà des relations académiques formelles, bilatérales ou multilatérales à une animation scientifique internationale, à l'écoute permanente des nouvelles dimensions sociales, économiques et éthiques de la recherche, telle peut être l'ambition majeure, jointe aux objectifs permanents du développement des connaissances et de l'éducation, du rôle assumé par la Délégation aux Relations Internationales de notre Académie.

C'est dans cet esprit que, tout en confortant dans leur continuité les actions exemplaires récemment développées (colloques interacadémiques, colloques bilatéraux, Coped, Programme Mère-Enfant, etc.), la Délégation aux Relations Internationales, dont le nouveau délégué a pris ses fonctions le 1^{er} juillet 2003, a entrepris une restructuration des grands domaines d'intervention internationale de l'Académie des sciences. Cette restructuration s'inspire dans ses principes, de la nécessaire convergence des grandes priorités scientifiques telles qu'elles sont exprimées dans leur diversité par l'ensemble de l'Académie, et des grandes priorités géopolitiques telles qu'elles sont exprimées par le Ministère des Affaires étrangères et qui reflètent dans ce domaine, comme dans d'autres, les orientations privilégiées de la politique internationale de la France.

Ces orientations stratégiques nouvelles conduisent à un nouveau mode d'organisation interne reposant sur l'identification de cinq grands secteurs géopolitiques, animés pour chacun d'entre eux par un chargé de mission.

L'action collective de la Délégation est coordonnée par un Conseil de Délégation, lui-même soutenu dans ses réflexions et ses projets par un Comité stratégique. L'un des attributs essentiels de l'Académie des sciences est de

permettre, par son indépendance et la diversité des expertises qu'elle représente, un lieu naturel de rencontres et d'échanges avec l'ensemble des organismes de recherche et les divers départements ministériels. Telle est la vocation du Comité académique des relations internationales scientifiques et techniques auquel est dévolu, sous le patronage de l'Académie, un rôle accru de concertation et de coordination interorganismes des actions internationales développées par les uns et par les autres.

De par ses missions naturelles de conseil et d'évaluation, l'Académie des sciences, au travers de la délégation aux relations internationales, doit, en interlocuteur permanent des autorités ministérielles, jouer un rôle essentiel dans

l'élaboration et l'évaluation de la politique de coopération scientifique internationale menée par notre pays.

Perspectives d'actions : L'Académie et le Monde académique

Les perspectives d'action de la Délégation pour les années à venir s'inscrivent dans une double stratégie, celle de conforter par le développement d'actions concertées, le partenariat de notre Académie avec les grandes académies internationales (UK, USA, Canada, Suède) et celle de promouvoir au travers de programmes finalisés internationaux dans les pays en développement et dans les pays en émergence, l'expression de nouvelles potentialités scientifiques et la création de jeunes académies.

Ces deux axes stratégiques sont complétés par la participation de notre Académie à diverses structures et organisations interacadémiques et la poursuite dans le cadre d'accords bilatéraux de programmes d'échanges avec quarante trois académies dans le Monde.

L'esprit qui anime ces divers domaines d'action est de substituer chaque fois que possible au caractère souvent symbolique, des accords de coopération, de nouvelles modalités d'animation partagée des relations scientifiques internationales.

C'est dans ce contexte que des rencontres importantes avec 3 grandes académies internationales marqueront l'année 2004.

Une réunion organisée à Washington par la National Academy of Sciences (USA) le 15 avril 2004 sera consacré aux perspectives d'action des 2 académies en faveur de la promotion de la recherche et de la formation dans les pays en développement.

Une conférence commune consacrée aux « Politiques de recherche et d'innovation : priorités du XXI^e siècle », accueillera à Paris le 17 mai 2004 une importante délégation de la Royal Society du Canada.

Le centenaire de l'entente cordiale donnera l'opportunité particulière d'accueillir les 21 et 22 octobre les membres du Bureau de la Royal Society avec les membres de notre Académie qui y sont associés et d'organiser le 22 octobre un colloque sur le « rôle des Académies dans l'organisation et l'animation de l'espace de recherche européen ».

D'une manière parallèle, une action forte a été entreprise pour renforcer la présence de l'Académie au sein des institutions européennes qu'il s'agisse des Institutions même de l'Union Européenne ou des organismes interacadémiques européens les plus représentatifs tels Allea (Alliance of European Academies) ou EASAC (European Academies Scientific Advisory Committee).

Dans le même esprit une attention toute particulière est portée à la participation de notre Académie aux activités des trois grandes organisations internationales :



¹ Membre de l'Académie des sciences, directeur honoraire de l'Institut Pasteur de Lille, délégué aux relations internationales de l'Académie

l'IAP (InterAcademy Panel), l'IAC (International Academy Council) et la TWAS (Third World Academy of Sciences).

Il convient de souligner que la réélection du professeur Yves Quéré à la co-présidence de l'IAP confère à nos relations avec cette organisation qui rassemble plus de 90 académies dans le Monde, une dimension toute particulière.

L'Académie et les pays émergents

L'Académie des sciences souhaite porter par ailleurs, au cours des prochaines années, son action vers les pays dits émergents, qu'ils soient au Sud ou à l'Est en y jouant le rôle d'un partenaire actif voire privilégié et en prenant appui, à la fois sur les actions de coopération du Ministère des Affaires étrangères et sur celles menées par les principaux organismes français de recherche.

Hormis la Chine, pour laquelle la Fondation Franco-Chinoise pour la Science et ses applications (FFCSA) mène une politique structurée de formation et d'accueil de chercheurs et d'échanges scientifiques, une véritable politique d'objectifs est actuellement en cours de définition. On ne peut que souligner la grande diversité géopolitique des pays concernés, tant à l'Est qu'au Sud, les niveaux très divers des priorités exprimées de développement scientifique et l'impérieuse nécessité, dans un contexte économique contraint, de rendre aussi efficaces que possible les investissements consentis.

Face aux dangers que représentent l'éparpillement des efforts, l'émiettement des moyens et le manque de pertinence des objectifs poursuivis, il est possible de répondre, par la substitution à des visions nationales bilatérales nécessairement limitées, des stratégies régionales de développement en utilisant dans ce contexte les relais régionaux d'émergence.

Les relais régionaux d'émergence

Nous avons tous appris de l'histoire récente de la coopération scientifique avec les pays en développement ou les pays en émergence, les réelles limites du transfert des savoirs et des techniques : les acquis durables des investissements considérables réalisés parfois pendant de longues périodes, restent souvent difficilement mesurables.

On constate que les progrès réalisés, notamment dans l'amélioration des grands problèmes de santé, restent relativement modestes au niveau des populations.

L'absence de prise en compte, partout dans le monde, des dimensions culturelles, sociales et politiques des stratégies de coopération, souvent réduites à leur finalité technique, constituent l'une

des causes majeures des échecs observés et des désillusions qui s'ensuivent.

Fondées par ailleurs sur des démarches qui privilégient les axes Nord/Sud, les politiques de coopération n'ont qu'un impact et une pénétrance limitée n'atteignant que rarement des dimensions régionales que permettraient le développement intégré des coopérations Sud/Sud.

L'état inégal de développement scientifique et technique au sein d'une même région permet dans ce contexte de prendre un appui logistique sur un pays relais bénéficiant d'un état de développement plus avancé et permettant par ailleurs une meilleure intégration socio-culturelle des programmes de coopération.

Ces observations : dimensions socio-culturelles, dimensions régionales par intégration des coopérations Sud/Sud, définition des relais régionaux d'émergence, constituent parmi d'autres, de nouvelles pistes de réflexion stratégique dans l'élaboration des programmes de coopération scientifique internationale. Sur la base de ces concepts, la délégation aux relations internationales se propose d'entreprendre un certain nombre d'actions visant au développement progressif d'un réseau international de « relais régionaux d'émergence » s'appuyant sur les priorités géopolitiques définies par ailleurs et qui concernent l'Est européen, l'Amérique latine, l'Extrême-Orient, les pays Arabes et Musulmans et les pays Africains.

Après avoir contribué de manière significative à la naissance en 2003 d'une Académie des sciences au Sénégal, la Délégation souhaite mettre en place, dans le cadre d'un renouveau de la coopération scientifique avec les pays arabo-musulmans, une structure relais en favorisant l'émergence à Beyrouth d'une Académie des sciences au Liban. La création de cette académie permettrait par les liens privilégiés développés avec l'Académie des sciences de France de promouvoir une politique d'animation scientifique non seulement au Liban mais de lui conférer progressivement une dimension régionale.

L'Académie et les pays en développement

Tout en poursuivant les efforts entrepris pour stimuler l'émergence de jeunes académies et les incitations à aider ces pays à utiliser au mieux les potentialités

de la science et de ses applications, des programmes internationaux finalisés qui prennent ici tout leur sens ont été initiés et seront particulièrement développés au cours des prochaines séances.

A l'initiative conjointe de l'Académie des Sciences et du Ministère des Affaires étrangères et sous le parrainage international de l'InterAcademy Panel, un programme de prévention de la mortalité maternelle et infantile a été mis en place en 2002 (Mother and Child Health in Developing countries).

L'Académie au travers d'un comité de suivi et d'évaluation présidé par le DRI (GRAMM) assure avec l'aide d'un Comité scientifique international l'animation scientifique de ce programme.

L'année 2003 a vu la création d'un réseau institutionnel et opérationnel regroupant 17 pays d'Afrique Sub-saharienne avec des objectifs importants de formation des personnels médicaux et des auxiliaires de santé, et la diffusion des guides de bonne pratique.

Un colloque sera prochainement organisé sous l'égide de l'Académie des sciences et l'Académie de médecine pour étudier la faisabilité d'un grand programme international d'éducation des mères, clé essentielle de la stratégie de prévention et de contrôle de la mortalité et de la morbidité maternelle et infantile. L'action de l'Académie vise en collaboration, avec sociologues et éducateurs du Nord et du Sud et en interaction avec le programme « La main à la pâte » de notre Académie à mettre en place une réflexion stratégique sur les méthodes de formation qui transcendent les spécificités culturelles et ethniques, qui débouchent sur une modélisation limitée dans l'espace et le temps permettant l'élaboration de critères objectifs d'évaluation des stratégies développées.

Des programmes sont par ailleurs en cours d'élaboration concernant le paludisme et les infections associées. L'Académie est apparue dans ce domaine comme un lieu naturel de rencontres et d'échanges entre les divers départements ministériels et les organismes de recherche.

A ces actions en faveur des pays en développement, s'ajoutent plus spécifiquement celles menées au sein de la DRI par le COPED et notamment l'organisation régulière de colloques et de forums concernant les aspects les plus divers de la Recherche et de la Formation.

Rôle de coordination de l'Académie des sciences

Institution indépendante et pérenne, riche de compétences diverses, l'Académie constitue naturellement par le prestige dont elle bénéficie, un carrefour naturel de rencontres et de dialogues entre de nombreuses institutions nationales.

S'agissant des dimensions internationales de la science, la délégation aux relations internationales a souhaité poursuivre et intensifier cette mission essentielle d'études et de concertation avec les principaux acteurs institutionnels.

Des actions nouvelles ont été mises en œuvre pour permettre une meilleure interaction entre l'Académie des sciences et l'Académie des sciences morales et politiques. Chacun est désormais convenu de l'importance des composantes socio-anthropologiques et des dimensions économiques et politiques des actions de recherche dans les pays en développement et en émergence et la nécessité de remettre en place, dans ce domaine, des stratégies intégratives.

Un premier projet concernant la préservation des ressources naturelles dans les PED est en cours d'élaboration avec un accent particulier concernant la pharmacopée des substances naturelles.

Dans le même esprit de plate-forme de dialogue et de concertation, la délégation aux relations internationales procède au développement de relations nouvelles avec la DRI de l'Académie des technologies, la DRIC du Ministère de la Jeunesse de l'Éducation nationale et de la Recherche ainsi qu'avec le Bureau de l'Académie nationale de médecine.

L'action la plus structurée est issue de la création du CARIST et des activités qui ont été générées au cours des dernières années.

Le succès rencontré par les dernières réunions du CARIST ont conduit au renforcement des missions d'échanges et de coordination assumées par cette structure entre les divers départements ministériels et les divers organismes de recherche. Deux réunions du CARIST sont prévues en 2004.

De l'orientation concrète des actions bilatérales, à la définition d'une animation scientifique internationale fondée sur des objectifs régionaux avec des perspectives intégrées de recherche et de formation, tel apparaît le schéma général des objectifs de la DRI pour les années à venir.

On peut raisonnablement s'attendre à ce que le renforcement de l'identité internationale de l'Académie des sciences contribue de manière significative à une visibilité et à une influence accrue de la recherche française dans le Monde ■

Élections de Membres

L'Académie des sciences lors du comité secret du 18 novembre 2003, a procédé à l'élection de 26 nouveaux Membres.

Discipline "Mathématique"

Thierry AUBIN, professeur à l'université Pierre et Marie Curie



Laurent LAFFORGUE, professeur à l'Institut des hautes études scientifiques

Marc YOR, professeur à l'université Pierre et Marie Curie



Discipline "Physique"

Guy LAVAL, directeur de recherche émérite au Centre national de la recherche scientifique



Jean DALIBARD, directeur de recherche au laboratoire Kastler Brossel de l'Ecole normale supérieure

Discipline "Sciences mécaniques"

Marcel LESIEUR, professeur à l'Institut national polytechnique de Grenoble

Philippe FLAJOLET, directeur de recherche à l'Institut de recherche en informatique et automatique



Discipline "Sciences de l'univers"

Jacques LASKAR, directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique



Vincent COURTILLOT, professeur à l'université Denis Diderot



Discipline "Chimie"

Pierre SINAY, professeur à l'université Pierre et Marie Curie



Michel ROHMER, professeur à l'université Louis Pasteur de Strasbourg



Discipline "Biologie cellulaire et moléculaire"

Joël BOCKAERT, professeur à l'université de Montpellier 1



Daniel LOUVARD, directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique et professeur à l'Institut Pasteur



Discipline "Biologie animale et végétale"

Alain BERTHOZ, professeur au Collège de France



Alain PROCHIANTZ, directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique



Discipline "Biologie humaine et sciences médicales"

M^{me} Dominique MEYER, professeur à la faculté de médecine de l'université Paris-sud Orsay



Jean-Didier VINCENT, professeur à l'université Paris-sud



Discipline "Inter-section des applications des sciences"

Mathias FINK, professeur à l'université Denis Diderot



Gérard LE FUR, directeur général délégué du groupe Sanofi-Synthelabo



Discipline "Energie"

Robert GUILLAUMONT, professeur honoraire à l'université Paris sud Orsay



Discipline "Immunologie moléculaire"

Bernard MALISSEN, directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique

Discipline "Matériaux"

Gérard FEREY, professeur à l'université de Versailles Saint Quentin



Discipline "Modélisation des systèmes complexes en biologie"

Pierre AUGER, professeur à l'université Claude Bernard de Lyon



Discipline "Physique et biologie : instrumentation"

Denis LE BIHAN, directeur de recherche au Commissariat à l'énergie atomique



Discipline "Sciences de l'eau (hydrologie)"

Ghislain DE MARSILY, professeur à Pierre et Marie Curie et à l'Ecole nationale supérieure des mines de Paris



Discipline "Signal, automatique et contrôle"

Alain BENSOUSSAN, professeur à l'université Paris Dauphine



la lettre n° 11 / printemps 2004 de l'Académie des sciences

Publication de l'Académie des sciences

23, quai de Conti 75006 PARIS
Tel : 01 44 41 43 68
Fax : 01 44 41 43 84
http : www.academie-sciences.fr

Directeur de publication : Nicole Le Douarin

Directoire : Nicole Le Douarin
Jean Dercourt

Rédacteur en chef : Jean-Didier Vincent

Secrétariat général de rédaction : Marie-Christine Brissot

Conception graphique
Direction artistique
Nicolas Guilbert

Photographies : N. Guilbert, p. 1, 3, 7, 11, 15, 18, 20, 22, photos (DR)
p. 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 16, 24

Peinture page 6 : N. Guilbert

Comité de rédaction : Jean-François Bach, Roger Balian, Jack Blachère, Édouard Brézin, Pierre Buser, Paul Caro, Jules Hoffmann, Alain Pompidou, Pierre Potier, Érich Spitz, Jean-Christophe Yoccoz

Photogravure & impression : Edipro/Printreference™
01 41 40 49 00

n° de C.P. : 0108 B 06 337

La Lettre de l'Académie des sciences remercie Denis Lamy, ingénieur de recherche CNRS, département "Systématique & Évolution", ainsi que Geneviève Béraud, directrice du département des parcs botaniques et zoologiques au Muséum national d'histoire naturelle, Paris.