

L'Asie du Sud à l'affût des biotechnologies

Autrefois considérées comme en retard, les économies de l'Asie du Sud ont connu une croissance annuelle moyenne d'environ 5,5% au cours des deux dernières décennies. Les perspectives y sont même plus optimistes, en dépit de la récession économique mondiale. Quant aux objectifs de développement fixés par ces pays, ils visent essentiellement à investir dans les infrastructures permettant de produire du personnel instruit et compétent. Les autres secteurs d'investissement sont les services publics vitaux que sont l'agriculture, la santé et l'énergie, qui exigent de plus en plus de technologie.

La biotechnologie apparaît dès lors comme la technologie dotée du plus grand potentiel pour résoudre les problèmes de faible productivité, de systèmes sanitaires surchargés, de cherté de l'approvisionnement en énergie non durable et enfin pour fournir de nouveaux matériaux pour les besoins de l'industrie et de l'environnement. Nous passerons en revue les domaines des biotechnologies qui offrent de bonnes perspectives pour le développement socioéconomique de l'Asie du Sud. Ces domaines prometteurs associent notamment la biologie, la chimie, l'ingénierie, les sciences de l'environnement, l'informatique et la physique.

Il deviendra impératif de relever le niveau de la coopération régionale pour que l'Asie du Sud puisse profiter de ces bienfaits. Des signes encourageants apparaissent tels que la création de l'Université de l'Asie du Sud et, sous les auspices de l'UNESCO, du Centre régional pour l'enseignement, la formation et la recherche en biotechnologie.

Les gouvernements sont déjà conscients, en général, du fait que la biotechnologie détient de précieux instruments pour relever nombre de défis du développement. Dans le domaine agricole, par exemple, la FAO estime que d'ici 2050, le monde devra avoir relevé de 50 % la production agricole si l'on veut éviter une pénurie mondiale de nourriture. La biotechnologie peut offrir des solutions grâce à la génomique végétale, aux engrais organiques et à la gestion intégrée des parasites. La biotechnologie a les moyens d'accroître la résistance des végétaux à la sécheresse, aux inondations et aux maladies ; elle peut fortifier les cultures de façon à combattre les maladies humaines telles que la carence en vitamine A ou l'anémie due à une carence en fer, chez les populations sous-alimentées ; elle peut encore produire des sources alternatives de combustible (les biocarburants). Elle a déjà révolutionné le système de santé par de nouveaux outils de diagnostic, des médicaments et des systèmes d'administration de médicaments aux malades.

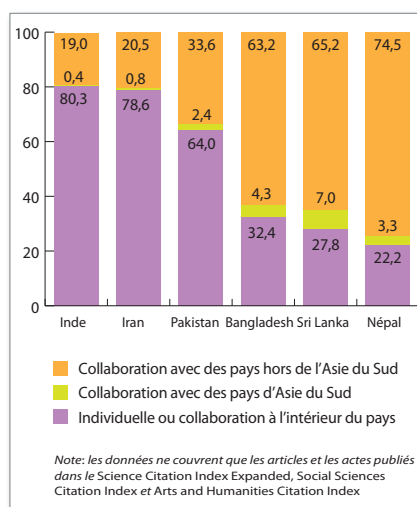
Les revenus de la biotechnologie de la région Asie et Pacifique ont augmenté de 25 % en 2008, selon *Beyond Borders : Global Biotechnology Report* (2009) de la société Ernst and Young. Plusieurs pays procèdent actuellement à de gros investissements dans ce secteur, comme la Chine, Singapour, l'Inde, l'Indonésie, la Malaisie, les Philippines et la Thaïlande. Ils suivent en cela les traces du Japon et de la République de Corée, selon le rapport *Bioeconomy 2030* de l'Organisation de coopération et de développement économiques.

En dépit toutefois de ces brillantes perspectives, il existe d'énormes écarts dans la façon dont les pays profitent de la biotechnologie, surtout en Asie du Sud. Le Département de biotechnologie rapporte que l'Inde a effectué de lourds investissements dans ce secteur, en enregistrant des bénéfices dépassant les 2 milliards de dollars en 2006–2007 et en déposant environ 3 000 brevets concernant la biotechnologie sur la période 1995–2004. Le Bangladesh, le Pakistan et le Sri Lanka, quant à eux, en sont encore à utiliser des technologies de première génération et, au Népal, au Bhoutan et aux Maldives, la biotechnologie est encore loin d'être répandue. Dans ces derniers pays, les efforts portent essentiellement sur la culture de tissus vivants.

En Asie du Sud, les scientifiques ont tendance à ignorer leurs voisins et à chercher à collaborer avec les États-Unis ou l'Europe, en partie parce que cela les rend plus crédibles aux yeux de leurs universités ou institutions de tutelles. *Le Rapport de l'UNESCO sur la science 2010* estime que « seuls 3 % des articles de recherche sont publiés en collaboration avec des scientifiques établis en Asie du Sud » (voir graphique). Sans nier l'importance de la collaboration internationale, la coopération régionale devrait être nettement plus importante. En identifiant les centres d'intérêt commun à la région, des alliances peuvent se nouer entre des scientifiques qui élargissent et diversifient ainsi leur champ de recherche. Cela est d'autant plus impératif au moment où déferle la vague



Ces ouvriers agricoles battent le riz dans la région pakistanaise de Mohenjo Daro.



Collaboration scientifique chez les auteurs d'Asie du Sud, 2007 (%)

Source: Rapport de l'UNESCO sur la science 2010

des domaines pluridisciplinaires de la biotechnologie qui annonce un changement de paradigme dans la manière de résoudre les problèmes critiques de l'agriculture et de la médecine. Certains de ces domaines sont décrits ci-dessous.

Biomatériaux et bio-ingénierie pour vivre mieux

Biomatériaux et bio-ingénierie appliquent aux problèmes biologiques et cliniques les principes de l'ingénierie. Simultanément, les percées dans des domaines tels que la nanotechnologie améliorent considérablement la manière de fabriquer des biomatériaux et la complexité de leurs fonctions : ils peuvent, par exemple, régénérer des tissus pour guérir des blessures.

Le (ou la) bio-ingénieur(e) emploie les méthodologies et les techniques de domaines plus traditionnels, qu'il (qu'elle) développe ou adapte en fonction des spécificités des systèmes biologiques. Prenons l'exemple des appareils d'induction de moelle osseuse, objets composites utilisant à la fois des éléments traditionnels de la prothèse et une approche d'ingénierie tissulaire afin d'assurer la stabilité des tissus de la moelle en attendant leur consolidation. La bio-ingénierie est sollicitée de diverses manières, allant de la conception, la mise au point et le fonctionnement d'appareils médicaux complexes de prévention, de diagnostic et de traitement, comme pour l'induction de moelle osseuse, jusqu'à l'étude du comportement des tissus chez des patients sains et malades, et la mise au point de logiciels et de modèles théoriques qui améliorent notre connaissance de questions biomédicales complexes. L'application revient évidemment à fabriquer et administrer plus efficacement les médicaments.

Selon l'OMS, le pourcentage de la population asiatique chez laquelle a été diagnostiqué un cas de diabète, de nature héréditaire ou environnementale, ne fait qu'augmenter. Chez ces patients, le pancréas ne produit plus l'hormone insuline, et ils doivent donc maintenir leur niveau de glucose dans le sang par des injections sous-cutanées quotidiennes d'insuline. Mais ces injections répétées ne peuvent remplacer le mécanisme naturel de l'organisme dans la distribution de l'insuline. Sans compter que l'injection est douloureuse et que les risques d'infection au cours de la piqûre sont très grands. L'administration de médicaments



© V. Durruty et P. Guedj/Fondation L'Oréal

L'une des cinq lauréates du prix L'Oréal-UNESCO de cette année, la P^{re} Vivian Wing-Wah Yam travaille sur des matériaux émetteurs de lumière qui peuvent agir comme des chémorécepteurs pour déceler le glucose dans le sang des diabétiques ou la présence de cellules malignes (voir aussi p. 12).

par voie orale est la plus courante et la mieux acceptée par le patient, mais elle ne convient pas dans le cas de l'insuline car l'hormone synthétique est neutralisée par les acides, ainsi que par les enzymes qui décomposent les protéines (les protéases), du système gastro-intestinal. La bio-ingénierie a pu résoudre ce problème en mettant au point une gélule d'insuline orale sensible au pH. Des innovations dans la manière de fabriquer les biomatériaux, souvent dérivées de techniques physiques ou chimiques, ont également ouvert de nouvelles approches au diagnostic.

La bio-ingénierie ne se limite pas à la recherche médicale. L'épuration de l'eau potable reste un problème majeur, notamment dans une région en développement et surpeuplée telle que l'Asie, où la majorité de la population est rurale et n'a pas accès à une eau potable de qualité. Selon les scientifiques de l'Institut national indien d'ingénierie et de recherche environnementales, l'eau disponible en Inde est polluée dans la proportion stupéfiante de 70 %, et les eaux usées produites par 25 villes très polluantes du pays sont à l'origine de 75 % de la pollution des rivières. La Yamuna, dans laquelle sont rejetés quotidiennement 200 millions de litres d'eaux souillées et non traitées par le Système d'égouts de Delhi, est devenu l'un des fleuves les plus pollués du monde, selon le PNUD.

Les produits d'épuration chimique actuellement sur le marché contiennent de l'argent, de l'iode et du chlore sous forme de comprimés. Ils sont efficaces, dans l'ensemble, mais ils présentent des inconvénients comme le rejet incontrôlé de désinfectants qui perturbent le système biologique humain, et ont des effets toxiques si leur usage est excessif. En outre, la couleur et l'odeur de l'eau filtrée sont modifiées et, après plusieurs cycles, des matières solides sont présentes dans l'eau en raison du caractère friable des composants. L'Institut indien de technologie de Delhi a mis au point un polymère microporeux non friable qui peut tuer les microbes en quelques minutes sans libérer de déchets toxiques.

Jeune homme devant le Taj Mahal. Située à 200 km au sud de New Delhi, la ville d'Agra compte une population d'environ 1,7 million d'habitants. Quelque 80 % des eaux usées de la ville s'écoule dans le fleuve Yamuna.



Photo: S. Rajib, Concours de photos sur l'eau du 50ème anniversaire UNESCO-IHE

Génomique végétale

C'est au milieu des années 1990 qu'ont été cultivées, à l'échelle commerciale, les premières cultures génétiquement modifiées (GM). Alors qu'elles sont cultivées en majorité dans les pays développés, un nombre croissant de pays en développement s'y sont mis. En 2008, l'International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications estimait¹ que les agriculteurs de 12 pays en développement avaient planté des cultures GM l'année précédente et que, pour la première fois leur nombre dépassait celui des pays industrialisés. L'Argentine venait en tête du mouvement pour les pays en développement, avec 18,9 millions d'ha de maïs, de soja et de coton GM. Le Brésil venait en second, avec un peu plus de 14,9 millions d'ha de coton et de soja GM. Quant à l'Inde, elle cultivait 6,10 millions d'ha de coton GM en 2007, sa seule culture biotechnologique. Presque toutes les cultures GM commerciales sont modifiées selon deux caractères : tolérance aux herbicides (63 % des récoltes en 2008) ou résistance aux insectes (15 %). Quelque 22 % se qualifient sous les deux rubriques.

L'Asie va devoir relever un défi redoutable dans les 20 à 25 prochaines années : la croissance en termes absolus de sa population, la plus forte du monde, qui passerait de 3 à 4,5 milliards, selon des rapports récents de la FAO et du PNUD. Le changement climatique devrait lui aussi, selon les prévisions, réduire la productivité des céréales dans l'ensemble de l'Asie du Sud, et menacer la sécurité alimentaire de plus d'un milliard de personnes. De surcroît, les pays disposeront de moins d'eau et de terres pour accroître la productivité agricole et nourrir ce supplément de population.

Ces deux dernières années, selon la FAO, une infrastructure solide en recherche et développement (R&D) en matière d'agriculture s'est fait jour en Chine comme en Inde, parmi d'autres pays en développement. Il semblerait cependant que pour faire face à la crise actuelle de l'agriculture, la région aurait besoin d'une stratégie bien définie qui lui permettrait de tirer parti de la biotechnologie. C'est encore plus urgent pour les petits pays asiatiques tels que le Sri Lanka, le Népal, le Cambodge et la République démocratique du Laos dont l'infrastructure et l'accès à la technologie sont plus problématiques.

La bonne productivité agricole dépend largement de la fertilité des sols et de l'irrigation, qui manquent aux paysans les plus pauvres. Comme l'a montré l'expérience des petits cultivateurs de coton GM en Afrique du Sud, la technologie des cultures GM doit pouvoir compter sur une infrastructure et des institutions publiques pour profiter à la catégorie de la population la plus pauvre. Il est également indispensable de disposer de solides relations public-privé favorisant la collaboration au niveau local aussi bien qu'international, et évidemment d'organiser des campagnes de sensibilisation.

La biotechnologie ne se résume pas seulement à améliorer les cultures en accroissant leur productivité. Elle peut également favoriser la résilience des végétaux à l'égard d'autres conditions environnementales telles que la sécheresse et les inondations. Dans un article publié par *Nature* le 20 août 2009, une équipe japonaise dirigée par le Dr Hatori affirme avoir identifié deux gènes, le SNORKEL1 et le SNORKEL2, qui permettent à des variétés de riz cultivées dans l'eau d'allonger leurs tiges au-dessus d'une eau montante afin de maintenir leurs feuilles à l'air libre, ce qui a pour effet d'accroître la production dans des zones sujettes aux inondations. Il y a 13 ans, l'Institut international de recherche sur le riz, aux Philippines, a découvert un gène, le Sub 1A, qui permettait à une variété indienne de riz de supporter la submersion pendant plus de deux semaines. Si le Sub 1A est efficace pour de courtes périodes, les SNORKEL1 et 2 restent actifs pendant des inondations plus longues et plus sévères. Cette découverte est particulièrement adaptée au contexte asiatique, où quelque 30 % du domaine rizicole est cultivé en régime de pluies de niveau variable (voir aussi page 17).



Au Bhoutan, différentes variétés de riz sont cultivées en terrasse.

Biologie systémique en vue de la fourniture de médicaments

S'il est difficile de créer quelque chose à partir de rien, il peut être tout aussi difficile de créer quelque chose à partir de tout. Mais c'est justement ce qu'essaient de faire de nombreuses sociétés pharmaceutiques en cherchant de nouveaux médicaments qui combinent la masse infinie d'informations biologiques disponibles dans un domaine nouveau de la science appelé biologie systémique.

La biologie systémique accumule une quantité sans précédent de données sur les cellules, puis en tire des informations à l'aide de modèles mathématiques. Dans sa forme la plus élaborée,

elle peut embrasser la totalité des données moléculaires à haut débit, telles que séquences d'ADN, molécules d'ARN, protéines et autres substances produites par le métabolisme (les métabolites), ainsi que des données plus descriptives comme les diagnostics cliniques des patients et leurs réactions aux médicaments (domaine de la pharmaco-génomique). Des programmes informatiques modélisent ces processus à l'intérieur de nos cellules. Les données sont ensuite intégrées dans les modèles, qui doivent également faire une place aux indications de temps et d'espace, car les molécules changent d'emplacement et de fonction à chaque microseconde. Il ne suffit pas de reproduire ce que l'on sait de la cellule : les modèles doivent aussi prédire ce qui est inconnu, afin que les scientifiques puissent tester leurs hypothèses.

Cependant, il subsiste, dans les milieux industriels et universitaires, des personnes réticentes à l'égard de la biologie systémique. Nul ne peut être certain qu'elle parviendra à augmenter le nombre de médicaments à l'étude qui passent avec succès l'épreuve des tests cliniques. C'est cependant un pari que presque tous les industriels semblent désireux de faire, même avec des investissements parfois modestes. Dans un rapport

publié en 2009, intitulé *Diagnostics*, les experts de chez Price Waterhouse Coopers ont soutenu que l'industrie pharmaceutique devait s'appuyer davantage sur la biologie systémique si elle voulait survivre au marasme actuel des découvertes dans le domaine des médicaments. Ils prévoyaient que cette approche s'affirmerait davantage d'ici 2020.

La biologie systémique peut aussi s'avérer utile dans le domaine de la médecine traditionnelle. Les sociétés pharmaceutiques sont devenues bien plus ouvertes aux médecines chinoise et ayurvédique au cours de cette dernière décennie. Mais leur approche par exploration des connaissances a été typiquement occidentale : isoler les ingrédients actifs et les tester un par un. Cette approche réductionniste a abouti à approuver l'usage de médicaments tels que l'artémisinine pour le paludisme qui, dans la médecine chinoise, sert à traiter la fièvre, ou le trioxyde d'arsenic, qui a été emprunté à la médecine chinoise pour le traitement de la leucémie promyélocytaire aiguë. Mais identifier les ingrédients actifs n'est pas facile. La plupart des remèdes de la médecine chinoise sont des formules complexes qui peuvent compter jusqu'à 50 espèces d'herbes contenant des milliers de produits chimiques. Pour puiser plus profond dans le gisement des traitements chinois traditionnels, les chercheurs pensent qu'ils devraient s'attacher à comprendre comment les mélanges d'ingrédients agissent entre eux. La biologie systémique s'efforce de connaître les fonctions et le comportement d'un organisme en étudiant les interactions entre ses éléments. C'est pourquoi certains la considèrent comme l'équivalent parfait de la médecine chinoise traditionnelle. En mesurant en même temps de nombreux gènes, protéines et métabolites, la biologie systémique pourrait fournir une mesure de la réaction de l'ensemble du corps à un mélange complexe d'herbes.

La plupart des pays en développement d'Asie du Sud en sont encore aux premiers stades de l'apprentissage technologique, où l'accès aux brevets déposés est indispensable au développement industriel. Il n'existe pas encore de modèles généraux qui leur permettraient de fondre dans une stratégie commune les diverses découvertes. Les sociétés de biotechnologie agricole, par exemple, recherchent les moyens de partager leurs brevets avec des pays en développement dans le cadre d'accords institutionnels spécifiques qui assouplissent leurs conditions d'attribution. Il pourrait leur être avantageux d'adopter des mesures semblables dans le domaine de la biotechnologie industrielle et environnementale².



Montagnes du centre du Bhoutan, où abondent les plantes médicinales, et (détail) chercheur en agronomie se livrant à une micropropagation de plantes lors d'un atelier organisé par l'UNESCO au Bhoutan en juin 2009



© WHO/P. Virat

L'un des exemples d'un heureux dispositif institutionnel est l'initiative Open Source Drug Discovery prise par le Conseil de la recherche scientifique et industrielle de l'Inde. Cette initiative vise à mettre au point des médicaments bon marché pour les populations démunies grâce à des subventions de recherches en collaboration, ouvertes à tous et couvrant l'ensemble du processus de création du médicament. Cette initiative indienne n'en est encore qu'à ses débuts et son succès à long terme pourrait dépendre de sa capacité à trouver suffisamment d'incitations, financières et non financières.

Création de vaccins

L'immunisation est peut-être le moyen le plus efficace de prévenir et affronter les maladies animales. Les vaccins offrent en général des avantages considérables pour un coût relativement peu élevé, argument essentiel pour les pays en développement. En outre, pour les maladies infectieuses très répandues, de bons vaccins peuvent réduire l'utilisation des antibiotiques. Parmi les pays qui ont répondu en 2005 à une enquête de l'Organisation mondiale de la santé animale, 7 pays asiatiques sur 14 déclaraient produire ou utiliser des vaccins pour animaux issus de la biotechnologie, certains au stade expérimental, d'autres vendus dans le commerce.

À côté des avancées réalisées dans la création de vaccins, il existe des méthodes améliorées d'administration des vaccins et des médicaments. Comme l'a souligné l'OMS, des milliers d'enfants meurent chaque année de maladies pouvant être évitées grâce aux vaccins, en raison du prix prohibitif de leur administration. Les dépenses de transport et de stockage réfrigérés coûtent très cher aux campagnes de vaccination. Le recours à du personnel médical qualifié vient s'ajouter aux dépenses. Des traitements médicaux longs et compliqués posent des problèmes aux populations, surtout s'ils comportent des visites aux centres de soins. Leur interruption peut non seulement entraîner la mort mais aussi l'apparition de souches de bactéries résistantes aux médicaments. Dans la mesure où les systèmes d'administration de médicaments sans injection ou à effet progressif sont capables de résoudre un grand nombre de ces problèmes, les scientifiques explorent actuellement différentes solutions dans cette direction.

Des vaccins sont également utilisés pour améliorer la santé des poissons par la sélection conventionnelle de leur résistance aux maladies et pour la recherche moléculaire des agents pathogènes aux fins de l'examen et du diagnostic. Ces techniques sont actuellement utilisées dans le monde entier pour déceler

les maladies virales des crevettes marines et, dans de nombreuses régions, les agents bactériens et fongiques chez les poissons. Cela permet de se conformer aux normes de quarantaine et de commercialisation des espèces aquatiques édictées par l'Organisation mondiale du commerce et l'Office international des épizooties.

Les diagnostics fondés sur la biotechnologie ont également leur importance dans l'analyse des aliments. La plupart des méthodes microbiologiques classiques dépendaient de cultures de microorganismes placées sur des plaques d'agar et détectées par leur signature biochimique. Ces méthodes sont souvent fastidieuses, consommatrices de personnel et lentes. Les systèmes de diagnostic et d'identification génétiques peuvent grandement améliorer la spécificité, la sensibilité et la rapidité des tests microbiens. Les méthodologies de typage moléculaire servent, pour l'alimentation, à rechercher et surveiller la présence de bactéries nuisibles (flore et microflore d'altération). Ces méthodes reposent en général sur la technique de réaction en chaîne par polymérase, capable d'agrandir de minuscules quantités d'ADN aux fins d'un examen efficace. En combinant ces technologies à d'autres tests génétiques, les scientifiques sont en mesure de décrire et d'identifier les organismes au niveau du genre, de l'espèce, de la sous-espèce et même de la souche, ce qui permet de déterminer précisément les sources de la contamination³.

Bio-nanotechnologie

La bio-nanotechnologie a le potentiel pour révolutionner l'industrie agroalimentaire par les nouveaux moyens dont elle dispose pour détecter rapidement les maladies végétales et améliorer la capacité des plantes à absorber les nutriments. Des capteurs intelligents et des systèmes sophistiqués d'administration des traitements aideront l'industrie à combattre les virus et autres agents pathogènes des cultures.

Nombreux sont les pays émergents qui ont des projets ambitieux de R&D en nanotechnologie, comme l'Afrique du Sud, le Brésil, la Chine, l'Inde, l'Iran, la Malaisie, le Mexique et Singapour. Cependant, alors que les pays pauvres se doivent toujours de renforcer, par exemple, leurs systèmes sanitaires et d'élargir l'accès de la population aux soins médicaux, la nanotechnologie pourrait, à terme, sauver des vies en améliorant sensiblement les diagnostics et les traitements. Plusieurs pays en développement d'Asie

Un scientifique du Centre de recherches marines des Maldives analyse en laboratoire la croissance des micro-algues.

© S. Abdul Sattar, Centre de recherches marines des Maldives



du Sud, d'Asie du Sud-est et du Pacifique s'efforcent de s'engager dans cette voie.

En 2009, la Commission économique et sociale des Nations unies pour l'Asie et le Pacifique (CESAP) et la Banque mondiale ont désigné certains domaines cruciaux dans lesquels la nanotechnologie pourrait être d'une grande utilité en impulsant dans la région un développement intégré et une croissance économique. Ce sont, par exemple, la production de nanoparticules pour l'épuration

de l'eau, l'utilisation de nanotubes de carbone dans la transformation et la conservation des aliments, la mise au point de kits peu coûteux et effectifs de diagnostic pour une série de maladies courantes, des systèmes innovants d'administration de médicaments et de vaccins et une plus grande efficacité de la conversion d'énergie dans les technologies photovoltaïques solaires grâce à des nanotubes et des nanoparticules.

La bio-nanotechnologie apparaît à beaucoup d'experts comme une perspective à long terme : il faudra d'abord faire des recherches et de nombreux essais, notamment dans le domaine médical, avant de passer à des procédures rigoureuses de tests et de validation. Tout va vite cependant. Si les nations en développement veulent profiter des bienfaits que cette technologie peut offrir, il faudra gérer avec le plus grand soin les nombreuses questions de financement, d'infrastructure, de formation et de politique relatives aux aspects aussi bien techniques qu'environnementaux.

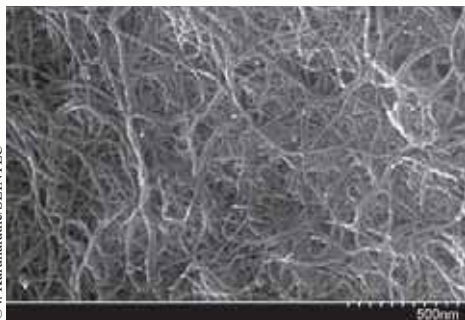
Des questions d'éthique se posent également. Dans ses recommandations publiées en 2008, intitulées *Les nanotechnologies et l'éthique : politiques et stratégies*, la Commission mondiale de l'UNESCO d'éthique des connaissances scientifiques et des technologies en a examiné un certain nombre, dont : Comment garantir la répartition équitable des avantages tirés d'une technologie créée, dans une grande mesure, par le secteur privé mais dotée d'importantes implications humanitaires ? Et le manque de compétences parmi les nations en développement dans l'adoption et l'utilisation de la nanotechnologie implique-t-il que leurs emplois manufacturiers deviendront obsolètes dès que les nations plus avancées technologiquement auront remplacé leurs procédés traditionnels par des procédés bénéficiant de la nanotechnologie ?

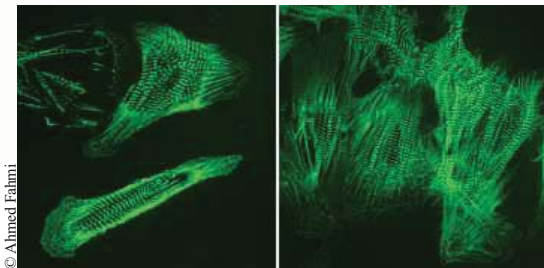
Biosécurité et bioéthique

En laboratoire, le risque et le danger physiques posent des problèmes techniques. Les politiques et les réglementations destinées à gérer ces risques dépendront dans une grande mesure de la capacité scientifique, y compris de l'expertise humaine, ainsi que de la qualité des équipements de laboratoires. Or, cette capacité n'existe tout simplement pas encore dans un grand nombre de pays en développement.

Le Protocole de Carthagène sur la biosécurité, le tout premier accord nommé destiné à traiter des produits d'ingénierie génétique, applique le principe de précaution à l'évaluation des risques liés aux organismes GM. Selon ce principe, l'absence ou la faiblesse de preuve scientifique du risque ne devraient pas

Ces nanotubes de carbone vus au microscope à l'Institut de nanotechnologie du Sri Lanka sont constitués de graphite de la veine sri lankaise dont le carbone est pur à 99%. En présence de nanotubes, la croissance des plantes est plus vigoureuse et plus rapide, ce qui laisse espérer que ces nanotubes deviennent un précieux adjuvant dans les engrais.





Muscles cardiaques néonataux d'un rat de laboratoire teintés en vert. Réalisée au Rayne Institute de Londres, au Royaume-Uni, cette expérience a respecté le strict règlement de biosécurité et les protocoles de bioéthique. À gauche, image de contrôle et, à droite, les mêmes muscles auxquels a été ajoutée de l'Interleukine 6. Cette protéine stimule la réaction immunitaire après traumatisme, notamment les atteintes aux tissus provoquant une inflammation.

être considérées comme preuve concluante de l'innocuité d'un organisme donné ; il doit, par conséquent être soumis à une analyse risque/bénéfice. Cela rassure quelque peu les pays en développement qui ne sont pas encore en mesure d'effectuer des évaluations approfondies. Cependant, si ce principe de précaution permet de soutenir qu'aucune technologie n'est totalement sans risque, celui-ci peut aussi être utilisé de manière détournée pour faire obstacle aux échanges commerciaux et au développement ultérieur de la biotechnologie. Cela donne à penser qu'il faut travailler à harmoniser certaines clauses de l'Accord sur les aspects des droits de propriété intellectuelle qui touchent au commerce avec celles de la Convention sur la diversité biologique.

Devant la complexité croissante des questions bioéthiques – relatives, par exemple, à la manipulation des données génétiques humaines, la bio-piraterie, la recherche sur les cellules souches embryonnaires, le clonage animal ou l'ingénierie génétique de végétaux pour produire des vaccins et des produits pharmaceutiques – les pays d'Asie du Sud sont de plus en plus nombreux à instituer des comités nationaux de bioéthique, selon l'UNESCO. Ces comités conseillent les décideurs sur la façon de traduire dans la législation et les règlements nationaux les normes universelles énoncées dans les instruments juridiques internationaux, afin de les ancrer fermement dans la politique et les pratiques nationales en matière de sciences biologiques.

À titre d'exemple, les sociétés pharmaceutiques prennent déjà l'habitude d'effectuer des essais cliniques dans les pays en développement, mais elles sont nombreuses à avoir des pratiques douteuses. Si les essais étaient menés dans des sites mondialement agréés, cela économiserait du temps et de l'argent. Il serait plus facile de réunir le nombre de patients ciblés, et la mise au point accélérée de médicaments pourrait offrir aux sociétés productrices une année supplémentaire d'exclusivité. Les pays eux-mêmes seraient gagnants en termes de finances, de formation de personnel hospitalier, d'écoles de médecine et d'organismes de recherche.

Le nombre d'essais effectués en Chine et en Inde, en particulier, est en constante augmentation, mais ces deux pays ont des points faibles quant au savoir-faire et à l'exigence éthique. Une étude récente de Normile indiquait que seuls 207 des 2 235 essais « randomisés » cités dans les publications chinoises avaient été correctement randomisés. Et qu'en Inde, la majorité des experts potentiels n'avaient pas les compétences nécessaires pour effectuer ces essais. Les patients sont souvent incités à participer aux essais, mais l'illettrisme très répandu pousse à contourner les protocoles de consentement éclairé, et les publicitaires attirent souvent les participants potentiels par de distributions conséquentes d'argent ou de médicaments onéreux. Appliquer les normes de la bioéthique aux registres et aux politiques de publications scientifiques permettrait de tenir compte de la participation grandissante du monde en développement aux essais cliniques.

La coopération régionale est impérative

Dès 1990, les chefs de gouvernements de l'Association de l'Asie du Sud pour la coopération régionale (SAARC) reconnaissaient la nécessité d'institutionnaliser et de promouvoir la coopération en biotechnologie. Mais elle a été très faible et n'a produit qu'un engagement formel et tardif en juin 2009, lorsque le Groupe de travail de la SAARC sur la biotechnologie, réuni à Colombo (Sri Lanka), a lancé la coopération entre États membres par des programmes communs de recherche et de bourses.

Il est impératif de développer la coopération régionale, afin de disposer d'excellentes universités et centres de recherches, de financer généreusement la recherche fondamentale et appliquée, de forger de puissants liens internationaux et d'ouvrir largement les canaux de communication. Ceci dit, la coopération régionale ne doit pas nécessairement se limiter à une circulation à sens unique, entre donateurs et bénéficiaires. Il y a certainement des possibilités de coopération régionale sous forme de recherches conjointes et de mise au point et de transfert de technologies.

Dans les années 1980, l'ONUDI avait piloté la création du Centre international d'ingénierie génétique et de biotechnologie (ICGEB) dont les bureaux sont situés à Trieste (Italie) et New Delhi (Inde) et, depuis 2007, au Cap (Afrique du Sud). Depuis, l'ICGEB a développé les compétences des pays en matière de biotechnologie industrielle, agronomique, pharmacologique et sanitaire – animale et humaine. Plus de 30 centres y sont affiliés dans le monde entier, dont certains sont devenus des centres d'excellence. Ils se situent souvent dans des pays en développement et des économies en transition. L'importance des capacités de recherche *locales* dans la mise en place d'une base industrielle *locale* y est mise en évidence.

L'Université de l'Asie du Sud : une première pour la région

Un saut qualitatif s'est produit dans la coopération régionale en juin dernier, avec la naissance de l'Université de l'Asie du Sud, provisoirement située dans un campus de l'Université Jawaharlal Nehru de New Delhi. Fondée par la SAARC, l'université accueillera dans un premier temps 50 étudiants dans une demi-douzaine de cours de master, dont l'un consacré à la biotechnologie. Les candidatures seront examinées en juillet et les cours devraient débuter en août. Les étudiants proviendront essentiellement des huit pays de la SAARC⁴, et leurs frais d'études seront subventionnés dans une large mesure. Des étudiants de pays extérieurs à la SAARC pourraient y être admis en payant la totalité des frais. Les enseignants eux aussi seront recrutés de préférence dans les huit pays de la SAARC.

Aux médecins l'ingénierie et aux ingénieurs la biologie !

Selon Narasimharao⁵, très peu d'institutions en Inde, ou même dans l'ensemble de l'Asie du Sud, offrent une formation ou un enseignement pluridisciplinaire, alors que c'est une condition cruciale pour la réussite de toute stratégie nationale de biotechnologie. Dans les universités conventionnelles, la structure même des départements universitaires, divisés en disciplines distinctes, fait obstacle à cet objectif.

Pour être efficace, la collaboration se doit d'être intellectuellement productive pour toutes les disciplines en jeu. Elle peut découler, dans un premier temps, du besoin des biologistes de s'adresser à des physiciens ou des mathématiciens pour mettre au point des techniques ou construire des modèles répondant à des questions purement biologiques, ce qui établit une relation à sens unique. Ou bien, la séduction de modèles simples et élégants peut engager des théoriciens sur des finalités n'apportant pas nécessairement des éclaircissements sur la biologie. Mais dans les meilleurs exemples de travail interdisciplinaire, la découverte et l'élucidation se font au bénéfice des deux parties. Les biologistes ont ainsi la chance de répondre à des questions-clés de leur domaine et les mathématiciens et les physiciens de mettre au point et d'utiliser des techniques de recherche qui cadrent mieux avec leurs connaissances du milieu naturel.

Il faut déplorer également le manque de reconnaissance du fait que la biotechnologie exige une multitude de spécialistes. De sorte qu'il existe une pénurie aiguë dans de nombreuses professions dont la formation exige la pluridisciplinarité, comme celles de médecins, ingénieurs, spécialistes de la mise au point clinique de produits et experts en réglementation de la science et en assurance de qualité. Cette question a été traitée dans le rapport de l'UNESCO publié l'année dernière sur *L'ingénierie : enjeux et défis pour le développement*.

Conscient de la situation, le gouvernement de l'Inde a créé un Centre régional pour l'enseignement, la formation et la recherche en biotechnologie, dans le cadre du Programme international de l'UNESCO en sciences fondamentales, en vertu d'un accord signé en juillet 2006. Des locaux provisoires

à la pointe du progrès viennent d'être mis à disposition et trois chercheurs principaux ont été recrutés pour l'unité de recherche. La construction des locaux permanents à Faridabad, dans les faubourgs de Delhi, devrait être terminée dans quelques années. Bien que des étudiants du monde entier puissent faire acte de candidature, la préférence sera donnée aux étudiants asiatiques.

La formation est essentiellement caractérisée par l'ouverture aux autres disciplines. Les futurs médecins s'inscrivent non seulement dans les disciplines médicales mais suivent aussi des cours d'ingénierie biomédicale, de nanotechnologie et de bio-entrepreneuriat. Au cours de leur formation médicale, ils collaborent avec des biologistes et des ingénieurs grâce à la mise en réseau des hôpitaux et des écoles de médecine locaux.

Comme un enseignement et une formation de tout premier ordre vont de pair avec un environnement de recherche stimulant, les travaux de recherche effectués au Centre se situeront à l'interface de multiples disciplines et se concentreront sur la mise au point de technologies. Il est prévu de mettre en place des programmes spécialisés dans les domaines spécifiques offrant de nouvelles opportunités telles que l'ingénierie cellulaire et tissulaire, la nano-biotechnologie et la bioinformatique, spécialité qui établit des synergies entre technologie de l'information et biomatériaux de pointe. Les points forts de la formation seront la réglementation, la mise au point de produits, le passage à la phase commerciale, la fabrication et le bio-entrepreneuriat.

Il est à espérer que ce centre régional devienne une plateforme pour susciter et mettre en œuvre des programmes conjoints, aussi bien dans le cadre régional pour répondre aux défis du développement de l'Asie du Sud que dans un cadre plus vaste pour approvisionner le marché mondial en produits et services.

Ahmed Fahmi⁶

Pour en savoir plus sur le Centre régional : www.rcb.res.in/ ;

Sur l'Université de l'Asie du Sud : www.southasiauniversity.org

Cet article s'inspire d'une série de conférences sur la biotechnologie et le développement en Asie sponsorisées par le bureau de l'UNESCO à New Delhi depuis 2004. Un article similaire, du même auteur, paraîtra en mai 2011 dans le *Journal of Biotechnology* d'Elsevier.



Maquette du Centre régional pour l'enseignement, la formation et la recherche en biotechnologie (à gauche) et de l'Institut transnational des sciences médicales (à droite) en construction à Faridabad. Ils font partie du Cluster unique de sciences biotechniques que le gouvernement indien met en place actuellement.

1. Voir Clive James (2008) *Global status of commercialized biotech/GM crops* : www.isaaa.org/
2. Voir S. Charturvedi et K. Ravi Srinivas (2011) *Contours of South-South Cooperation and Biotechnology in Asia: Strategising for Agricultural and Industrial Growth. RIS Policy Brief. No.49*
3. Voir J. Ruane et A. Sonnino (éd) (2006) *The Role of Biotechnology in Exploring and Protecting Agricultural Genetic Resources, Background document*, pp. 151–172. FAO, Rome
4. Réunissant l'Afghanistan le Bangladesh, le Bhoutan, l'Inde, les Maldives, le Népal, le Pakistan et le Sri Lanka
5. B.P. Narasimharao (2009) *Need for new trends in biotechnology education and training. Asian Biotechnology and Development Review*, 11, 89–114
6. Spécialiste du programme, Bureau du Cluster de l'UNESCO à New Delhi pour le Bangladesh, le Bhoutan, l'Inde, les Maldives, le Népal et le Sri Lanka : a.fahmi@unesco.org