



Les défis posés à la science par les besoins alimentaires et en biomasse croissants

Jean-Claude Pernellet

Membre de l'Académie d'agriculture de France

Directeur de recherche honoraire de l'INRA

*Animateur du groupe de travail sur les potentiels de la science pour l'avenir de
l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement*

Manuscrit révisé le 13 juillet 2013 - Publié le 28 octobre 2013 - modifié 31 janvier 2015

L'Académie d'Agriculture de France a réalisé récemment une étude sur les voies et les moyens d'accroître la production agricole mondiale à l'horizon 2050 [1]. La population mondiale devant passer de 7 à 9 milliards en 205, il serait nécessaire, selon la FAO, d'augmenter la production agricole de 70 % pour l'alimenter (soit un taux d'accroissement annuel de 1 à 2 % selon les productions), objectif incontournable mais difficile à atteindre. Les conclusions de cette étude ont été reprises dans une note académique [2] qui relève que les hommes devront utiliser pour arriver à ces fins tous les moyens à leur disposition, tels que l'extension des surfaces cultivées, la réduction des pertes et surtout l'accroissement des rendements des cultures, tout en ne détériorant ni les ressources naturelles, notamment les sols, ni notre environnement. Cependant, *les surfaces cultivables sont limitées* (elles couvrent actuellement 1 550 millions d'hectares dans le monde et seuls 200 à 300 millions d'hectares, qui se situent surtout en Amérique du Sud et en Afrique (voire en Russie et au Canada, suite au changement climatique), viendront encore s'y ajouter d'ici 2030), car les terres encore disponibles mais de bonne qualité se font rares, alors que l'urbanisation les ampute chaque jour un peu plus (35 000 ha/an en France, plus de 500 000 en Chine). C'est pourquoi une *augmentation de la production* est impérative, ce qui implique de trouver des méthodes efficaces *au niveau des cultures*, tout en limitant l'usage des produits phytosanitaires et des engrais, pour des raisons tant économiques qu'écologiques. Il est indispensable également de *limiter les pertes après récolte* qui sont de 15 % en moyenne (mais bien plus élevées dans les pays les moins avancés) et enfin de juguler le gaspillage de produits alimentaires dans les pays les plus avancés, évalué de 25 à 30 % des aliments produits. Malgré tout, accroissement des surfaces et réduction des pertes tendront vers des limites, de sorte que les seules réserves de productivité résident dans l'accroissement des rendements des cultures qui constituera l'essentiel de l'augmentation de la disponibilité alimentaire. Elle passe nécessairement par l'acquisition et la mise en œuvre de technologies plus efficaces qui reposent sur des connaissances nouvelles et des innovations techniques et technologiques. Les attentes sont nombreuses. Elles portent sur l'obtention de variétés de plantes et de races animales plus productives tout en étant plus tolérantes aux contraintes biotiques et abiotiques, l'optimisation des cultures d'espèces secondaires et, éventuellement, la domestication de nouvelles espèces. On attend aussi des progrès sur l'utilisation et la valorisation de l'eau (meilleures techniques d'irrigation, mais aussi variétés plus résistantes à la sécheresse) et sur l'adaptation au réchauffement climatique. On doit aussi compter sur des

améliorations sensibles dans l'usage des engrais et la protection des cultures contre les maladies et les ravageurs, ainsi que dans l'alimentation et la santé animales ; mais encore sur la production de biomasse et d'énergie qui entrent en compétition avec les productions alimentaires ; et, dans une moindre mesure, sur des changements de comportements en alimentation humaine (problème récurrent de la consommation de viande). Pour répondre à toutes ces contraintes, il s'avère incontournable de mettre en œuvre tous les potentiels scientifiques et technologiques possibles pour développer une *agriculture productive économiquement, socialement acceptable et respectueuse de l'environnement* [3].

Par ailleurs, le développement d'une véritable « bio-économie » implique l'accroissement de la mobilisation, de la production et de l'utilisation de *biomasse ligno-cellulosique*, notamment issue des forêts et de plantations dédiées. Cette biomasse peut avoir la forme de bois d'œuvre pour la construction et l'ameublement, ou de bois d'industrie pour les panneaux, les matériaux composites, les fibres, la pâte à papier, la *chimie verte*, l'énergie (co-génération chaleur-électricité, bio-carburants de deuxième génération, etc.). En outre, les forêts assument d'autres fonctions essentielles de production de nombreux biens et services, de nature marchande ou non : protection et régulation (avalanches, crues) ; stockage du carbone, biodiversité, eau à usage domestique, aménités, etc., dont l'importance croissante est aujourd'hui reconnue. La gestion forestière est caractérisée par un cadre temporel très long (plusieurs décennies, voire un ou deux siècles) et des modalités, généralement peu intensives (pratiquement sans intrants), largement fondées sur les principes de « l'agro-écologie ». La question des changements climatiques est donc particulièrement forte, en termes d'impact sur les écosystèmes forestiers, de leur capacité d'adaptation, et de leur rôle dans l'atténuation de ces changements. Les progrès de la gestion forestière durable à des fins multiples (économique, sociale, environnementale) nécessitent une mobilisation des potentiels scientifiques de disciplines variées (biophysiques, mathématiques, économiques, etc.) et de leur intégration au sein de stratégies innovantes.

Mise en place d'un groupe de travail interdisciplinaire.

L'état des lieux et les prévisions faits en 2009 se limitaient aux progrès fondés sur la projection des connaissances actuelles, sans prendre en compte, par précaution, les avancées scientifiques probables. Cependant, il faut s'attendre à ce que la formidable avancée des progrès scientifiques apporte des sauts technologiques qui bouleverseront certainement le monde agricole comme, par exemple, la génomique est aujourd'hui en passe de profondément révolutionner l'organisation de la sélection des plantes et des animaux domestiques. C'est ce qui a motivé la création d'un groupe de travail interdisciplinaire sur les potentiels de la science pour l'avenir de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement qui a été mis en place début 2011. Bien qu'en matière de science et de technologie, les avancées décisives sont difficilement prévisibles, ce groupe de travail inter-sections s'est mis en place pour tenter d'imaginer les scénarios vraisemblables car la vitesse actuelle du progrès scientifique, notamment en biologie, est telle que les retombées agronomiques potentielles en seront certainement décisives, même si cette notion de progrès est fréquemment mise en doute.

Ce groupe de travail a eu pour objectif de croiser, sans *a priori* ni exclusive, les acquis cognitifs les plus originaux (e.g. génomique, modélisation, biologie synthétique, défenses anti-microbiennes, etc.) avec les attentes indispensables au développement d'une agriculture durable, notamment en réduisant les intrants (e.g. résistance aux contraintes biotiques et abiotiques, relations hôtes-parasites, biodiversité *versus* lutte contre les ravageurs, nutrition des plantes et des animaux, pollution diffuse, préservation des sols, etc.). Les réflexions du groupe de travail se situent à différentes échelles géographiques : en matière de progrès des connaissances, par nature universelles, il s'agit d'intégrer des données internationales, alors qu'en termes d'applications, ce sont surtout les problèmes nationaux qui sont développés, car les choix technologiques dans un pays ne sont pas indépendants des questions sociétales et des choix de la population. Cependant, la comparaison avec des options développées ailleurs n'est pas éludée. Outre les possibilités nouvelles offertes par les récents progrès de la connaissance dont on peut anticiper les retombées, les lacunes à combler sont évoquées ainsi que les domaines orphelins propres aux questions non résolues de la science.

Les questions abordées.

Le groupe de travail a choisi de traiter différentes thématiques qui ont abouti à la rédaction de chapitres constitués généralement de plusieurs articles qui peuvent se lire indépendamment, même s'ils sont énumérés ici selon une suite logique.

Le premier chapitre, dédié aux connaissances fondamentales, *Concepts et outils du génie génétique* (le transfert de gènes, un des moteurs essentiels de l'évolution ; les outils de la génomique renouvellent la biologie ; les « *omiques* » et les analyses à haut débit ; la variabilité naturelle ; la biologie synthétique, etc.) sert de support à la compréhension de nombreuses questions de biologie, tout en apportant des éclairages nouveaux sur des questions en bouillonnante évolution qui contribueront à révolutionner notre conception de l'agronomie.

Le second chapitre se rapporte à l'*Élevage* (exploitation de la biodiversité pour l'aquaculture ; la génétique et la sélection des animaux ; les animaux génétiquement modifiés ; le rôle de la science dans l'alimentation animale, etc.).

Le troisième chapitre *Amélioration des plantes* est consacré aux ressources génétiques végétales et à leur mise en œuvre pour améliorer génétiquement les plantes cultivées (la génomique et l'amélioration des plantes ; la paléogénomique des plantes pour l'amélioration variétale ; le rôle de l'épigénome dans le contrôle du développement et des interactions avec le milieu ; l'amélioration de l'efficacité d'utilisation des engrais azotés chez les plantes cultivées ; les pistes d'utilisation des connaissances pour l'amélioration des plantes vis-à-vis du déficit hydrique ; à compléter par la génétique des relations plantes pathogènes, etc.).

Après ces articles consacrés peu ou prou au génome et à son expression, un quatrième, intitulé *Nutrition, croissance et développement des plantes*, est relatif à la physiologie des plantes. Il commence par des questions scientifiques non encore résolues, quoique bien avancées, que constituent le fonctionnement de l'absorption racinaire et le rôle des symbioses microbiennes (les relations sol-plantes, apports de la microbiologie des sols à l'agronomie et au développement des plantes cultivées ; les bases moléculaires de la nutrition minérale des plantes). Puis ce sont divers aspects de la physiologie qui sont abordés (le fonctionnement des méristèmes ; les semences ; la modélisation de la croissance des cultures, etc.).

Un cinquième chapitre regroupe des articles portant sur la *Protection des cultures*. Il illustre les moyens nouveaux permettant à la lutte phytosanitaire d'assurer sa nécessaire fonction en préservant l'environnement (la protection phytosanitaire ; science et protection intégrée des plantes cultivées ; comment des microbes bénéfiques peuvent aider des plantes à acquérir une tolérance aux stress environnementaux).

Le sixième chapitre nommé *Gestion des ressources sol-eau-espace et énergie en relation avec le développement socio-économique* est consacré aux questions relatives à la limitation des ressources en considérant diverses échelles, de l'agro-système au paysage, voire au-delà (pour une agriculture plus écologique ; les prairies, ressources pour l'élevage et pour l'environnement, un compromis indispensable pour l'agriculture). Il clôt les aspects dédiés aux plantes et est suivi par un chapitre dénommé *Itinéraires techniques et mécanisation* qui traite de questions plus technologiques (mécanisation, automation, robotisation ; zootechnie ; phytotechnie). La thématique "*mécanisation, machinisme, automation*", outre la description des nouveaux moyens mis à la disposition de l'homme pour s'affranchir des lourdes tâches répétitives, fournit aussi des réflexions sur les implications socio-économiques du développement de la robotisation à la ferme. Quant aux deux autres articles, ils expliqueront comment améliorer le système agricole ; ils correspondent aux choix et combinaisons de techniques associant les aspects phytotechniques et zootechniques aux problèmes relevant du paysage ; ils intègrent l'ensemble des connaissances précédemment énoncées pour montrer comment on peut reconsidérer l'association des moyens disponibles pour développer une agriculture plus efficace, écologiquement respectueuse et cependant économiquement rentable.

Les deux chapitres suivants sont dédiés d'une part à l'*Utilisation non alimentaire des organismes vivants et valorisation des sous-produits* qui comporte aussi des regards d'économistes sur l'obtention de biomasse, avec les espoirs fondés sur la disponibilité de nouveaux matériaux, de nouvelles sources de molécules pour l'industrie chimique, et aussi de sources énergétiques renouvelables non génératrices de gaz à effet de serre (les forêts, leurs produits et services dans un contexte changeant : apports potentiels de la science ; la chimie verte ou comment l'agriculture de demain fournira les bioproduits non-alimentaires) et, de l'autre, à l'*Avenir de l'alimentation humaine* (science et alimentation ; notre microbiote, une partie essentielle de nous même ; progrès attendus dans le secteur agro-alimentaire) qui intègre des savoirs très divers allant des besoins diététiques au comportement du consommateur en passant par les nouvelles connaissances sur les populations microbiennes intestinales et les risques alimentaires, l'évaluation et la prévention de ces risques.

Enfin, un neuvième et ultime chapitre est dédié à des articles prospectifs qui décrivent les frontières de nos connaissances et les espoirs attendus en matière d'applications.

Remarques conclusives

Bien évidemment, tous les nouveaux savoirs en amont des sciences directement applicables à l'agriculture n'ont pas été présentés autrement que par de courts encadrés et des renvois bibliographiques. Il s'agit notamment des systèmes d'information géographiques, du calcul intensif, de la télédétection par satellite, etc. Les questions relatives à l'agriculture biologique sont évoquées dans les différents chapitres et n'ont pas fait l'objet d'une thématique indépendante, puisqu'un groupe de travail de l'Académie d'Agriculture *ad hoc* a récemment mis en ligne un rapport accessible sur le site de l'Académie [4] qui est repris dans un ouvrage publié aux éditions QUAE en 2012.

Par ailleurs, on ne peut rejeter *a priori* l'innovation technologique que constituent les organismes génétiquement modifiés (OGM), notamment les plantes (PGM), cités dans nombre de chapitres pour leur indéniable apport à la résolution de questions prégnantes (amélioration de nombreux paramètres phytotechniques, mais aussi environnementaux, ainsi que l'usage en agro-alimentaire). Ces considérations propres aux PGM sont l'objet d'un autre groupe de travail de l'Académie d'Agriculture qui a publié ses conclusions en janvier 2015 [5], alors que les OGM, très largement utilisés en industrie agroalimentaire, sont abordés dans l'article sur les progrès attendus dans le secteur agro-alimentaire.

Enfin, il convient de rappeler que le contenu est essentiellement évolutif. Non seulement des articles nouveaux vont s'ajouter, mais encore la mise à jour des articles publiés est envisagée pour les domaines les plus rapidement évolutifs.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) Rapport du groupe de travail de l'Académie d'Agriculture de France, **2009**. Nourrir le monde en 2050 - Les voies et les moyens pour accroître la production agricole mondiale. Disponible sur http://www.academie-agriculture.fr/detail-seance_191.html.
- (2) N. Movahedi, G. Paillotin et A. Neveu, **2009**. Le monde manquera-t-il de terres pour nourrir les hommes du xxième siècle ?- Note de Recherche de l'Académie d'Agriculture de France. Disponible sur http://www.academie-agriculture.fr/mediatheque/Redaction/Note_de_recherche/2009_note_Paillotin_Neveu.pdf.
- (3) M. Griffon, **2006**. Nourrir la planète. Ed. Odile Jacob.
- (4) B. Le Buanec *et al.* **2010**. L'agriculture biologique. Disponible sur http://www.academie-agriculture.fr/detail-seance_230.html
- (5) J.-C. Pernollet coord. **2015**. Plantes Génétiquement Modifiées : Menaces ou espoir ? Ed. QUAE et <http://www.academie-agriculture.fr/groupe-de-reflexion/plantes-genetiquement-modifiees>