

Évolutions et ruptures en amélioration des plantes

Henri Feyt

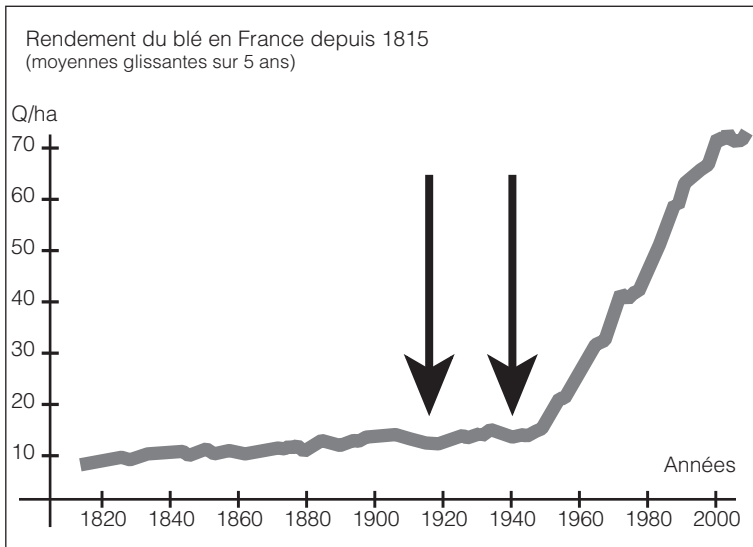
Introduction

L'amélioration des plantes a commencé avec l'agriculture, au début du Néolithique (8 000-6 000 avant J.-C.), lorsque nos ancêtres, qui tiraient jusque là leur subsistance de la cueillette, de la chasse et de la pêche, se sont sédentarisés. Le processus de domestication, qui a sans doute démarré plus tôt pour les animaux que pour les plantes, s'inscrit dans la durée puisqu'il est toujours en activité aujourd'hui et a conduit aux races animales et aux espèces et variétés végétales traditionnelles qui fondent l'agriculture moderne. Du fait de la dialectique permanente entre progrès technique et progrès génétique (Gallais, 2002), il est intéressant d'essayer de préciser la part des progrès de l'agriculture qui revient à l'amélioration des plantes. Sur la base de l'analyse des techniques, des outils puis des concepts mis successivement en œuvre, il est possible de distinguer quatre périodes, mais de durées très inégales.

Une sélection consciente, aidée par la nature, jusqu'à 1700

On a peu d'information sur les performances de l'agriculture pré-historique. Même pour les espèces fondatrices des civilisations : le blé, le riz, le maïs, ou la vigne, on ne dispose de données à peu

près fiables que depuis très peu de temps. Il est cependant certain que les progrès des productions végétales ont été extrêmement lents jusqu'au début du 20^e siècle (Le Buhanez, 2002) pour connaître un véritable emballement depuis une cinquantaine d'années. Par facilité, nous nous appuyerons sur l'exemple de la production du blé en France au début du 19^e siècle qui nous permet d'extrapoler vers le passé (figure 1).



■ Figure 1
Évolution du rendement moyen du blé en France.
Données International Seed Federation/FAO.

Vers 1800, le rendement moyen français était de l'ordre de 6 à 7 q/ha. Si l'on estime que les populations de graminées ancêtres sauvages de nos céréales à paille qui croissaient sur les plateaux d'Asie mineure au début du Néolithique pouvaient produire 200 à 300 kg/ha de grain, on mesure la lenteur du progrès quantitatif jusqu'à l'aube du 19^e siècle : environ dix mille ans pour un doublement de la productivité ! On constatera au passage sur la figure 1 quelle est la capacité des guerres à briser les évolutions favorables.

Cette approche purement quantitative ne doit pas obérer les évolutions considérables sur le plan qualitatif enregistrées au cours du temps par la plupart des espèces cultivées. Tout d'abord, une transformation de la plante pour un ensemble de caractères (syndrome de domestication) favorables à son exploitation par l'homme (non égrenage spontané, regroupement de la maturité, augmentation de la taille du grain, élimination de la dormance des graines, etc.) mais la rendant moins compétitive à l'état spontané. Ensuite, une formidable diversification variétale au travers des adaptations aux contraintes abiotiques et biotiques de milieux agro-climatiques très variés, que l'on peut illustrer par l'extrême diversité des conditions de culture du blé (par exemple, les variétés de blé cultivées traditionnellement en Chine au Nord du Fleuve Jaune, à cycle très court, capable de résister à des hivers sans neige extrêmement rigoureux – jusqu'à $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$! –, à longue paille utilisée en vannerie et adaptées à la fabrication du « pain vapeur » n'ont plus que de lointains rapports avec celles cultivées en Beauce et adaptées à la panification française) ou du riz (dont la culture s'étend des zones de mangrove jusqu'aux hauts plateaux malgaches ou au Népal en passant par les riz flottants des zones inondables ou les riz pluviaux des zones non irriguées). Enfin, une extrême diversité des caractéristiques physiques ou technologiques du produit récolté, fonction des modes de consommation, d'utilisation et de transformation, pas seulement alimentaires, de chaque peuple.

Au moins trois types de pressions de sélection ont contribué à cette diversification : l'action consciente des agriculteurs par le choix des individus (plante, épis, grain) qui participeront à la génération suivante ; les pressions biotiques et abiotiques qui, à chaque génération, éliminaient le matériel non adapté, l'agriculteur ne récoltant et ne pouvant re-semer que ce que Dame Nature avait bien voulu lui laisser ; enfin les effets indirects des migrations et des échanges de semences ou de plants, qui ont, très progressivement, fait « évoluer » le matériel génétique pour la conquête de nouveaux milieux.

Ces évolutions et adaptations résultent du réagencement de caractères existant déjà au sein de chaque espèce mais aussi de la fixation de mutations naturelles, retenues pour leur intérêt par l'agriculteur alors qu'elles auraient été systématiquement rejetées par la sélection naturelle (cas de la plupart des caractères liés à la domestication).

Cette longue période a permis le formidable enrichissement de la variabilité génétique des espèces cultivées qui constitue aujourd'hui le patrimoine et le matériau de base de la sélection moderne. À ce propos, on signalera que les dispositions de la Conférence de Rio, en induisant une diminution drastique des échanges de ressources génétiques, vont à l'encontre même du principal mécanisme d'accroissement de leur diversité.

Ce processus de sélection consciente ne s'appuyait bien sûr que sur le seul phénotype (l'apparence) et non sur le génotype (les gènes) des individus, relevant de ce que nous appelons aujourd'hui une « sélection massale ». Il a donc été efficace essentiellement sur les caractères mono- ou oligogéniques fortement héritable (à effets additifs) et beaucoup moins sur les caractères polygéniques ou à effets peu héritable (dominance, épistasies). De même, selon le régime de reproduction de l'espèce considérée, le choix du sélectionneur pouvait s'avérer efficace à 100 % (multiplication végétative), donner quelques résultats (autogamie : autofécondation majoritaire) ou s'avérer pratiquement sans impact (allogamie : hybridation majoritaire). Sans compréhension des phénomènes en jeu et sans maîtrise du système de reproduction, la quasi-totalité des variétés ainsi sélectionnées localement relevaient donc du type « population », c'est-à-dire d'un mélange de génotypes, dans des proportions fluctuant autour d'un équilibre au gré des pressions biotiques et abiotiques particulières à chaque année. Ces populations se sont avérées extrêmement stables sur de très longues périodes, de l'ordre de plusieurs siècles (sauf bouleversements consécutifs à l'introduction ou la réintroduction de matériel génétique exotique dus à des désastres, des explorations lointaines, etc.). Ainsi, on peut affirmer que les variétés de blé cultivées en France jusque vers 1850, de même que celles de sorgho ou de mil cultivées en Afrique sub-saharienne jusque dans les années 1950, étaient peu différentes de celles que connaissaient les paysans de ces régions deux ou trois siècles plus tôt. Cette stabilité locale était la contrepartie de l'effet de diversification évoqué plus haut.

Ainsi, pendant 8 à 10 000 ans, l'agriculteur a été son propre sélectionneur, et les variétés cultivées étaient globalement stables à l'échelle de la vie humaine et des régions. Cependant cette longue période a permis la création et la structuration d'une très grande diversité génétique au plan géographique.

La sélection raisonnée sur des bases pragmatiques (1700-1900)

La publication intégrale en 1600 par Olivier de Serres de son *Théâtre de l'agriculture et mesnage des champs* marque le retour de l'intérêt des élites pour la production agricole, mais essentiellement sur les aspects gestion des sols (rotation) et alimentation animale. L'amélioration des plantes ne connaîtra ses premières innovations qu'au début du 18^e siècle, avec les «hybrideurs», le premier d'entre eux étant officiellement le pépiniériste anglais Thomas Fairchild, qui en croisant artificiellement deux espèces d'œillet a obtenu un individu stérile mais se reproduisant par multiplication végétative, donnant ainsi naissance à une nouvelle variété pouvant être reproduite à l'infini. Ce modèle fut aussitôt transposé à de nombreuses autres espèces du même type, en particulier les arbres fruitiers et les plantes ornementales, débouchant sur une multitude de nouvelles variétés dont certaines sont toujours cultivées aujourd'hui.

Mais fixer et exploiter le progrès génétique est un tout autre problème pour les plantes à reproduction uniquement sexuée. Des premiers essais de suivi de descendance sont réalisés à Jersey sur le blé par J. Le Couteur vers 1800 (Darwin, 1868), en Angleterre sur le pois après hybridation dès 1822 par John Goss, mais ce dernier passera à côté des conclusions que G. Mendel saura tirer de ce même matériel quelques années plus tard (Cook, 1937). L'innovation de Louis de Vilmorin fut d'introduire vers 1859 le test de descendance sur les populations de céréales autogames qu'il sélectionnait et il revint à son fils Henri de mettre au point le schéma de sélection généalogique : c'est-à-dire la sélection dans la descendance d'un croisement entre deux lignées présentant des caractères complémentaires qui permet d'isoler et de fixer des lignées pures améliorées (Gallais, 2002). Bien que reposant sur des bases purement pragmatiques – les Vilmorin ignoraient les travaux de Mendel et n'ont pas su «théoriser» à partir de leurs résultats –, ce dispositif

s'est révélé extrêmement efficace et marque le point de départ de l'amélioration raisonnée des plantes autogames. Les nouvelles variétés de céréales proposées par les Vilmorin, puis par d'autres sélectionneurs suivant leurs traces, connaissent très rapidement un grand succès, se traduisant par une tendance à la progression des rendements dès les années 1880-90, qui sera malheureusement cassée par le Grande Guerre.

En ce qui concerne l'amélioration des plantes allogames, la notion de « vigueur hybride » est évoquée pour la première fois par Joseph Koelreuter à la suite de ses observations sur le tabac (1761-1766) ; mais il faut attendre plus d'un siècle pour que W. J. Beal (Heitz, 1987) propose l'utilisation de semences hybrides suite à ses expérience sur le maïs dans le Michigan (1879-1881). De fait, l'amélioration des plantes allogames ne prendra son essor qu'à partir des années 1920 à la suite des travaux de East et de Shull et la mise au point par Jones des hybrides doubles (Thomas, 2002).

Ainsi, dès le 18^e siècle pour les plantes à multiplication végétative et le milieu du 19^e siècle pour les autogames, émerge progressivement un nouveau métier, celui de sélectionneur-producteur de semences ou de plants, qui va d'emblée être confronté à une double contrainte :

- la reconnaissance, et la rémunération, du travail de ces nouveaux professionnels ;
- la lutte contre les fraudes et abus (tromperie sur l'identité, manque de pureté, faible qualité technique) sur les variétés et semences améliorées aux dépens des agriculteurs.

Ce n'est que sur l'extrême fin de cette période que les sélectionneurs commencent à s'organiser dans tous les pays développés en créant des associations nationales (Suède, 1886). Les états de leur côté mettent en place des laboratoires d'essais des semences (France, 1884) et des stations d'expérimentation agricole, rapidement appuyés par des lois (en France, loi du 1^{er} août 1905) ou règlements sur le commerce des semences (Jonard, 1961 ; Heitz, 1987 ; Feyt, 2001). Mais ces initiatives visent essentiellement à la défense des intérêts des agriculteurs sans apporter aucune réponse aux préoccupations des sélectionneurs.

Naissance et essor d'une science appliquée (1900-1992)

La re-découverte des lois de Mendel par de Vries (et d'autres !) en 1900, n'est pas le seul événement qui va permettre à l'amélioration des plantes de prendre le statut de « science appliquée ». La description du mécanisme de la méiose par A. Weissmann (1892), les concepts de « génotype » et de « phénotype » développés par Johannsen (1903), les premières bases de la génétique quantitative jetées par Hardy et Weinberg (1908), les publications de Shull à partir de 1908 sur le schéma d'amélioration du maïs hybride, la mise en évidence des centres d'origine comme réservoirs de gènes d'intérêt par N. Vavilov (1918), les apports de R.A. Fisher à l'expérimentation agronomique pour ne citer que quelques contributions parmi les plus significatives, assoient les sélectionneurs sur des bases rigoureuses. Celles-ci vont leur permettre de développer de nouveaux concepts et de nouveaux outils, sans cesse plus performants, qui vont faire littéralement exploser leur capacité créative. La constitution de collections de ressources génétiques publiques et privées, la mise au point de schémas de sélection adaptés aux différents systèmes de reproduction, les fabrications d'hybrides, les croisements interspécifiques, la maîtrise des niveaux de ploïdie, la mutagenèse, la multiplication *in vitro*, l'obtention de lignées fixées à partir d'un gamétophyte (pollen ou ovule), la culture d'embryons, l'embryogenèse somatique, la sélection récurrente, etc. vont élargir les champs du possible et accélérer la création de nouvelles variétés, plus performantes et régulières dans le champ de l'agriculteur, plus adaptées aux besoins des consommateurs ou aux processus des industriels, et surtout sans cesse plus diverses.

Le décollage significatif de la production agricole, s'appuyant sur les progrès combinés des techniques et de la génétique amorcé avant 1914, reprend dès les années 1920, est anéanti par la Seconde Guerre mondiale, mais redémarre en 1945 avec une puissance accrue, ouvrant une ère de croissance sans équivalent historique.

Dans le cas du blé, le rendement moyen augmente au rythme soutenu d'environ 120 kg/ha/an, passant de 15 q/ha à la sortie de la guerre à environ 70 q/ha aujourd'hui. Ce progrès quantitatif n'est bien sûr pas dû à la seule génétique. Une étude sur la période 1957-86 (Feyt, 1987) estimait à 30 % la part de celle-ci, dans un contexte d'innovations techniques extrêmement dense : accroissement et

(Comité technique permanent de la sélection) est mis en place en 1942, avec pour mission de créer un réseau d'expérimentation des variétés dans le cadre d'une collaboration entre les stations de recherches agronomiques (qui se fondront ensuite dans l'Inra) et les sélectionneurs privés, repris plus tard par le Geves. Toutes ces dispositions fondent l'organisation générale de la filière française des semences telle que nous la connaissons aujourd'hui. Cependant, si ces initiatives contribuent à faire reconnaître et à officialiser le rôle des sélectionneurs, ceux-ci demeurent réduits à vivre d'expédients, soit en combinant avec plus ou moins de bonheur les législations relatives au Catalogue, au commerce des semences et aux marques, soit en faisant appel au système mal adapté du brevet industriel (en particulier pour les rosiers), soit encore par des pratiques défensives spécifiques (ébourgeonnage des oeilletts). Ils s'organisent donc au plan international (création de l'Assinsel, 1938) et développent les contacts avec l'Aippi (futur Ompi) aboutissant en 1961 à Paris à l'adoption de la Convention Upov, système international *sui generis* pour la protection des obtentions végétales, qui entre en vigueur en 1968 (comptant 56 pays au 24 septembre 2004).

Toutes ces innovations (scientifiques, techniques, juridiques), qui ont bénéficié à la recherche publique comme aux entreprises de sélection privées, conduiront progressivement à un partenariat équilibré et profitable à la collectivité, le secteur public explorant et mettant au point les nouvelles techniques et le secteur privé développant leurs applications jusqu'à la mise en marché des nouvelles variétés.

Depuis 1900, l'amélioration des plantes a à la fois contribué aux, et bénéficié des progrès de la génétique, science nouvelle dont elle est aujourd'hui l'une des composantes majeures. Particulièrement au cours des cinquante années qui ont suivi la guerre – les cinquante glorieuses ? – elle a su répondre aux exigences posées par l'explosion démographique et le développement des pays les moins avancés. Grâce à elle, le monde disposait à l'aube des années 1990 du matériel végétal et des techniques capables de satisfaire quantitativement et qualitativement ses besoins alimentaires et en matières premières végétales.

La période du doute (1992- ?)

Mais dans le même temps naissaient de nouveaux problèmes. Le développement des nouvelles biotechnologies a ouvert un accès direct aux gènes, à leur isolement, reconditionnement et réassociation, et à leur transfert d'un organisme vivant à un autre, indépendamment des cloisonnements spécifiques, élargissant considérablement la gamme des possibilités. Si du point de vue d'un généticien, cette évolution pouvait apparaître comme naturelle et découlant du raffinement des technologies sans changement de paradigme, il n'en a pas été de même pour une partie de la société.

À cela s'est surimposée la question des droits de propriété intellectuelle sur chaque composante du vivant, animal, végétal ou micro-organisme : population, individu sauvage ou issu d'un processus de sélection traditionnel ou moderne, gène, voire simple séquence.

Dans le même temps, on a assisté à un désengagement de la recherche publique et à une montée en puissance et à une internationalisation de la recherche privée.

Dans le domaine végétal, les Ressources phytogénétiques pour l'agriculture et l'alimentation (RPGAA) avaient été reconnues par la FAO (Engagement international, 1983) comme « patrimoine commun de l'humanité » et devaient à ce titre rester accessibles à tous. De même, le système Upov avait établi le libre accès à l'ensemble des gènes contenus dans une variété protégée, assurant ainsi la diffusion et le partage du progrès génétique. Tout cela en conformité avec les pratiques traditionnelles des sélectionneurs, qu'ils soient paysans ou généticiens. Mais ce libre accès et cette libre circulation ont été remis en question au sein de la FAO à partir de 1989 par un courant d'opinion composé de pays en développement et d'ONG, qui en s'appuyant sur le concept de « droits des agriculteurs », se sont opposés aux pays développés détenteurs des techniques avancées.

Enfin, l'accroissement de la population, de l'urbanisation, des surfaces cultivées, des impacts industriels, etc. posait la question de la

préservation des ressources génétiques, particulièrement celles des espèces sauvages ou ne faisant pas l'objet de sélection du fait de leur intérêt trop local ou mineur.

Le tournant a été pris en 1992 à Rio avec l'adoption de la « Convention sur la biodiversité », qui place les ressources génétiques sous la souveraineté des États et conditionne leur échange à un accord bilatéral soumis « au consentement préalable donné en connaissance de cause de la Partie qui fournit » et « au partage juste et équitable des résultats de la recherche [...] et des avantages résultant de l'utilisation commerciale et autre des ressources génétiques ». Plus de dix ans après son adoption, il est possible de faire un premier bilan de la convention, et celui-ci s'avère extrêmement négatif : on ne peut que constater un ralentissement considérable des échanges de ressources génétiques, allant jusqu'à remettre en question pour certains (Petit *et al.*, 1999 ; Davalos *et al.*, 2003) la capacité des sélectionneurs à répondre aux défis alimentaires à venir. Et dans le cas spécifique des RPGAA, le traité international de la FAO de 2001, censé faciliter ces échanges dans le cadre d'un système multilatéral s'appuyant sur un MTA standard, demeure pour le moment sans effet du fait que les éléments de ce MTA sont toujours à négocier.

Ainsi, les sélectionneurs qui, avec l'avènement de la génomique et du génie biomoléculaire, disposaient enfin des techniques leur permettant de maîtriser avec une extrême finesse la gestion des gènes d'intérêt se voient, tout particulièrement en Europe, traités d'apprentis sorciers, accusés de visées économiques perverses et agressés physiquement dans leurs laboratoires et leurs champs d'expérimentation avec destruction de leur matériel. Le problème est que cette ambiance peu rationnelle, entretenue par les médias, conduit aujourd'hui à l'abandon de programmes de recherches dans des domaines où l'Europe était autrefois leader, à l'expatriation des compétences et des investissements dont il faudra bien un jour prendre toute la mesure !

L'heure est donc à la désillusion et au doute, surtout dans les petites structures, privées comme publiques, qui n'ont pas ou peu accès aux technologies nouvelles et sont directement confrontées au manque de fluidité des échanges de ressources génétiques.

Conclusions

Il ressort tout d'abord de ce rapide survol de l'histoire de l'amélioration des plantes une extrême continuité quant aux mécanismes biologiques sur lesquels elle repose : l'hybridation et la mutation pour élargir la variabilité, la sélection pour choisir et fixer un génotype nouveau, exploités pragmatiquement par le paysan du Néolithique comme par le sélectionneur moderne. S'il y a des ruptures, elles correspondent à la conceptualisation des phénomènes en jeu : la recombinaison des caractères par l'hybridation qui conduit au choix raisonné des parents à compter du 18^e siècle ; la compréhension des règles de transmission des caractères héréditaires à partir de 1900 ; et plus récemment la connaissance du code génétique et de son mode d'expression qui ont permis de développer toute une gamme de méthodes et de technologies nouvelles. Quant à la transgénèse, on peut discuter à l'infini si elle constitue un nouveau concept ou est simplement le fruit naturel de l'évolution des connaissances et des techniques.

De fait, c'est le regard de la société sur le monde du vivant qui a changé à la charnière des années 1980-90 : bien commun, non appropriable sinon sacré, il devient aujourd'hui l'objet d'enjeux économiques. Ce changement de nature a conduit les plus hautes autorités scientifiques (Académie des sciences, 2000 ; Alberts et Klug, 2000) à prendre clairement position en faveur du libre accès et de la non appropriation des génomes, seules les applications dérivées des gènes, et non les gènes eux-mêmes, étant brevetables.

Par ailleurs, le « Sommet de la Terre » de Rio a fait prendre conscience de l'interdépendance de tous les pays face aux grands problèmes qui conditionnent l'avenir de notre planète (rejets dans l'atmosphère et réchauffement climatique, pollution des mers, gestion des ressources en eau douce, etc.), et il n'est question aujourd'hui que de mondialisation et de libre circulation des hommes, des idées et des biens. Dans ce contexte, la perte du statut de « patrimoine commun de l'humanité » et la mise sous souveraineté des États des ressources génétiques, entériné par la Convention sur la biodiversité, apparaît comme paradoxale et à contre courant

de l'évolution générale, d'autant que, du fait de l'évolution des techniques, une ressource génétique n'est désormais rien d'autre qu'un « réservoir de gènes » !

Comment sortir de cette impasse ? Le système Upov garantit le libre accès aux gènes tout en permettant à la recherche, privée comme publique, de rémunérer ses investissements. Fruit de la longue expérience des sélectionneurs et élaboré sur des bases pragmatiques, il a fait la preuve de sa robustesse et de son efficacité durant ces 35 dernières années au profit de la collectivité mondiale. Pourquoi ne pas le prendre comme modèle pour les réflexions en cours sur la gestion des ressources génétiques et la protection du vivant ?

Références

- Académie des Sciences, 2000 — La connaissance du génome est-elle brevetable ? Prise de position à propos de la directive 98/44/CE sur la propriété industrielle dans le domaine des biotechnologies. <http://www.academie-sciences.fr>
- Alberts B., Klug A. Sir, 2000 — The human genome itself must be freely available to all humankind. *Nature* 404, 325.
- Bustarret T J., 1961 — Le catalogue des espèces et variétés et le comité technique permanent de la sélection. *Bulletin technique d'information*, 157, p. 201 – 206.
- Cook R., 1937 — A Chronology of Genetics. *Yearbook of Agriculture*, 1457-1477. <http://www.esporg>
- Darwin C., 1868 — *The Variation of Animals and Plants under Domestication*. 2 vols. 2nd ed., ch. 9.
- Davalos L., Sears R., Raygorodetsky G., Simmons B., Cross H., Grant T., Barnes T., Putzel L., Porzecansky A. L., 2003 — Relating access to genetic resources under the Convention on Biological Diversity : an analysis of selected case studies. *Biodiversity and Conservation* 12, 1511-1524
- Dave's Home Page, last change: 08/18/2002 — *A Chronology of Significant Historical Developments in the Biological Sciences*. <http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/e01/geschichte.htm>
- Feyt H., 1987 — Semences et variétés de l'an 2000. *Perspectives agricoles*, 111, 48-56.
- Feyt H., 2001 — La protection de la propriété intellectuelle sur le vivant. Historique et débats actuels autour des variétés végétales. *OCL*, 8, (5), 514-523.

- Gallais A., 2002 —
Evolution des concepts, méthodes
et outils de l'amélioration des plantes.
*Coll. "L'amélioration des plantes,
continuités et ruptures"*,
Montpellier, octobre 2002.
- Heitz A., 1987 —
Histoire de la protection
des obtentions végétales.
*Les vingt-cinq premières années
de la Convention internationale
pour la protection des obtentions
végétales*, Genève, Upov, 134 p.
- Jonard P., 1961 —
Commentaires sur la législation
des semences en France.
Bulletin technique d'information,
157, 207-212.
- Le Buhanez B., 2002 —
Des semences pour l'humanité :
sélection végétale, semences
et agriculture durable.
Brochure ISF, ISF, Nyon, 24 p.
- Petit M., Fowler C., Collins W.,
Correa C., Thornström C.G., 2001 —
*Why governments can't make policy:
the case of Plant Genetic Resources
in the international Area*.
World Bank.
- Thomas F., 2002 —
L'introduction et l'expansion
des hybrides en France, 1930-1970.
*Coll. "L'amélioration des plantes,
continuités et ruptures"*,
Montpellier, octobre 2002.