

UNE AUTRE RECHERCHE EST POSSIBLE

Quel service public de la recherche en génétique végétale pour une agriculture durable ?

Christophe Bonneuil, Isabelle Goldringer et Pierre-Henri Gouyon

Quand dans les années 1980 l'informatique s'affirmait comme secteur économique clé, le gouvernement décida de soutenir à bout de bras Thomson, champion industriel national. On acheta alors des milliers de « TO7 » qui croupirent dans les écoles, au lieu par exemple de prioriser la recherche et l'innovation sur le logiciel, et notamment le logiciel libre qui est aujourd'hui le seul concurrent mondial d'Apple et Microsoft. Quand Internet s'est développé outre Atlantique avec sa puissance de création décentralisée, nos chercheurs de France Télécom avaient tout misé sur un minitel moins ouvert et plus hiérarchique. Entre Tchernobyl et Fukushima, l'Allemagne a déposé vingt fois plus de brevets sur les énergies éolienne et solaire que la France, préparant ainsi une sortie du nucléaire fortement créatrice d'emploi.

Cet aveuglement récurrent qui frappe nos ingénieurs des grands Corps et nos décideurs des politiques de recherche de d'innovation en France, n'épargne malheureusement pas le domaine agronomique. Alors que tous les signaux environnementaux, sanitaires et sociaux de l'agriculture conventionnelle sont au rouge (hormis les algues vertes, deux fois plus abondantes cet été 2011 que l'an dernier sur les plages bretonnes...) et que l'ONU montrait que l'agriculture biologique est capable de nourrir le monde (cf. le rapport O. De Schutter), le gouvernement se vantait en plein Grenelle de l'Environnement d'avoir « multiplié par sept le budget recherche consacré aux OGM. »¹ Cette décision était dans la lignée d'un Comité Opérationnel Recherche, présidé par la PDG de l'Institut National de Recherche Agronomique, seul comité parmi les 35 Comités du Grenelle de l'Environnement à avoir interdit la participation de représentants des associations de la société civile (la recherche est sans doute une affaire trop sérieuse pour la société). Sans doute pour une raison très politique – le gouvernement et l'Inra souhaitant maintenir deux derniers essais en plein champ du pays pour y préparer un futur retour des OGM – la direction de l'Inra a investi plus d'un million d'Euros² dans un projet de recherche transgénique sur la vigne à Colmar, contre l'avis du partenaire initial du projet Moët & Chandon (qui se retire en 1999), du tribunal administratif de Strasbourg (qui annule l'essai en septembre 2009), et d'une filière viticole qui a toujours déclaré ne pas vouloir cultiver d'OGM.

Sur les biotechnologies végétales, on met des millions d'euros, de vastes laboratoires et des centaines de chercheurs. La recherche agroécologique en appui de l'agriculture biologique, elle, rationnée à quelques milliers d'euros et de quelques post-doctorants, reste sous-développée. Bilan : relativement à son volume global de publications en sciences

¹ Chantal Jouanno cité par Sophie Verney-Caillat, *Rue89*, 19/08/2009

<http://www.rue89.com/2009/08/19/chantal-jouanno-pas-dogm-dans-la-future-loi-grenelle-2>

² Le chiffre est de Jean Masson, directeur de l'INRA de Colmar. *"Avec notre avocat, nous avons estimé les dommages-intérêts au plus bas, parce qu'il s'agit d'un individu seul, mais l'investissement global s'élevait à plus d'un million d'euros"*, 17-janvier 2011.

agronomiques, la France produit, 30% de moins de publications scientifiques sur l'agriculture biologique que les Etats-Unis, 3,4 fois moins que la moyenne de l'Union Européenne et... 19 fois moins que le Danemark (Gall et al. 2008). Pas étonnant alors que le lait bio de nos grandes surfaces soit importé du Danemark alors qu'il pourrait être produit en France : nos agriculteurs et transformateurs biologiques sont largement orphelins de l'appui de la recherche.

Tout comme le tout nucléaire dans la R&D qui plombe aujourd'hui la nécessaire reconversion énergétique française, ce retard français en matière de R&D pour l'agriculture et l'alimentation biologique (un marché en croissance annuelle de plus de 10% ces dernières années) constitue un nouvel exemple de cécité à ce que l'avenir demande. En sciences du végétal, l'Inra et les grandes écoles agronomiques (rassemblés dans le consortium Agreenium, qui a pris soin de n'associer aucun département d'écologie universitaire alors que c'est à l'Université, au CNRS et au MNHN que sont l'essentiel des compétences scientifiques en écologie) privilégient depuis deux bonnes décennies des priorités de recherche qui correspondent avant tout aux besoins de l'industrie agro-alimentaire et agro-chimique et non à ceux d'une agriculture écologique, saine, créatrice d'emplois et de solidarité ville-campagne. En ce sens, comme l'a montré Michel Callon (1994), elles ne constituent pas un bien public.

Ces priorités privilégient des approches réductionnistes d'une biologie moléculaire in vitro sur les approches systémiques et écologiques de la plante au territoire. Dans les années 1980, les producteurs de betteraves en recherche de nouveaux gènes de stérilité mâle pour produire des hybrides ont financé un laboratoire de biologie moléculaire afin de produire des mutants. Quatre ans plus tard, c'est pourtant un autre laboratoire de génétique écologique à Lille, qui s'était vu refuser tout soutien financier de ces semenciers pour étudier la diversité génétique des populations naturelles de betteraves sauvages, qui découvrit plusieurs sources nouvelles de stérilité alors que les méthodes biotechnologiques étaient restées bredouilles. Cet épisode illustre une situation typique où l'on a surévalué l'apport des biotechnologies et sous évalué l'apport de l'étude de la biodiversité. En fait, il s'agit d'une sorte de hiérarchisation des domaines scientifiques qui aboutit à laisser de côté les approches globales, l'écologie, l'agronomie ou les aspects humains au profit de démarches de la biologie moléculaire et la génomique.

N'est-il pas temps d'en finir avec les erreurs scientifiques du passé et les modèles d'innovation dépassés ? Dans un contexte de changement climatique et d'érosion dramatique de la biodiversité (les biologistes parlent de la « 6^e extinction », la 5^e était celle des dinosaures...) on ne peut plus se limiter en matière de recherche génétique à un tout biotechnologique et un tout génomique tendu vers l'obtention de variétés génétiquement homogènes adaptées à de polluantes monocultures. Tout en gardant une compétence sur certaines recherches moléculaires de pointe, il convient de consacrer les deux tiers des budgets et personnels du Département de Génétique et Amélioration des Plantes de l'INRA (ainsi que des autres départements du Secteur végétal) à des approches agro-écologiques associant de nombreux génotypes différents de chaque espèce (il est prouvé que les mélanges variétaux et les variétés hétérogènes sont plus résistants aux maladies (Mille et al 2006) et résilients aux aléas climatiques ; Hajjar et al. 2008) et associant plusieurs espèces sur la même parcelle (la culture combinée en agroécologie est jusqu'à 3 fois plus productive en matière sèche³ et plus respectueuse de l'environnement que la monoculture qui domine nos plaines céréalières).

³ 30t de matière sèche contre 10 dans la Beauce (Caplat, 2012).

Face à la montée, avec les OGM et la brevetisation du vivant, d'un monopole mondial des firmes chimiques (Monsanto, Dupont et quelques autres) sur les semences et l'alimentation mondiales, faut-il croire qu'on va concurrencer ces géants avec « nos » OGM brevetés de l'INRA ou de Limagrain (notre champion national des semences, comme le fut Thomson en informatique et comme l'est AREVA pour l'énergie) ? Ou bien ne faut-il pas plutôt jouer la carte de la reconstitution du vivant et des semences comme biens communs et d'une recherche au service d'innovations variétales sur mesure pour une agriculture 2.0 dégageant plus de valeur ajoutée économique et sociale ?

Cet article s'efforcera de montrer la pertinence sociétale et scientifique de ces nouvelles perspectives. Mais auparavant, il nous faut comprendre comment la recherche publique en génétique végétale en est arrivée là, ainsi que les blocages intellectuels les jeux d'intérêts et le manque de courage politique et de vision scientifique qui en bloquent les évolutions.

1. Un peu d'histoire : les transformations de la génétique végétale et du secteur semencier depuis 1945

1.1. Le rôle de la recherche publique en génétique végétale après guerre

Au sortir de la seconde guerre mondiale, pensée selon le modèle industriel fordiste (Allaire, 1995), l'agriculture est sommée de se « moderniser », c'est-à-dire de s'intensifier en énergie fossile (le rendement énergétique de l'agriculture a baissé depuis 1945 !) et en capital pour produire plus avec moins d'actifs afin de libérer la main d'œuvre requise par les secteurs secondaires et tertiaires, et de consommer des biens et services du monde industriel et urbain (machinisme, engrais, produits phytosanitaires, technostructure d'encadrement technique et économique). Cette logique, qui pouvait se comprendre pour nourrir la population et reconstruire l'Europe au sortir de la guerre n'est plus pertinente depuis que le chômage de masse n'absorbe plus l'exode rural et que l'exportation de nos produits agricoles à faible valeur ajoutées à coup de subventions publiques ruine les agricultures du Sud et les finances publiques. Dans cette logique, la semence sélectionnée, la fertilisation, la défense des cultures et les savoirs et normes techniques, désormais produits hors de la ferme par l'agro-industrie, n'est qu'un *facteur de production* soumis à la standardisation pour favoriser la mécanisation et se prêter à la transformation industrielle et l'allongement des filières entre producteurs et consommateurs. Comme l'a montré l'économiste Gilles Allaire, ce modèle productiviste s'appuie sur une logique d'innovation visant à aligner la diversité des milieux et pratiques sur des savoirs génériques et des logiques de rationalisation qui sont transversales aux productions et visent à agir sur les facteurs « limitants. » (Allaire, 1995).

Le « nettoyage » des paysages de toutes les variétés populations locales et anciennes (environ 380 variétés de blé cultivées au milieu des années 1930) pour les remplacer par des semences « pures » de quelques variétés sélectionnées (une soixantaine de variété de blé seulement sont autorisées dans les années 1960 ; interdiction de cépages de vignes jugés non adaptés, etc.) s'intègre parfaitement dans cette logique. La modernisation agricole donne donc une place centrale à la réglementation des semences et à la recherche publique en amélioration des plantes (l'INRA en pleine croissance, concurrence souvent les sélectionneurs privés sur le marché variétal). La semence est vue comme l'input le plus rapidement perfectible du système productif agricole, et comme un cheval de Troie d'une transformation globale des itinéraires techniques. Les variétés sont en effet sélectionnées pour valoriser les intrants chimiques (comme la valorisation de l'azote par la rigidité des pailles et le nanisme) et mécaniques (l'homogénéité variétale favorisant la mécanisation).

C'est sous Vichy et dans un contexte de tension alimentaire que les semences et variétés deviennent un objet fort d'intervention de l'Etat : création du Groupement National Interprofessionnel des Semences (GNIS) en 1941, du Comité Technique Permanent de la Sélection (CTPS) en 1942, plans de multiplication de variétés prescrites associés aux cultures

obligatoires de Vichy, constitution d'un club de sélectionneurs agréés. A la Libération puis sous la Ve République, ces structures qui articulent un dirigisme impulsé par la recherche publique (l'Inra est créé en 1946 par ceux qui dirigèrent l'expérience de dirigisme semencier sous Vichy ; Bonneuil et Thomas, 2010) et une cogestion du secteur par la profession agricole et semencière, sont reconduites et renforcées. S'impose alors une division du travail entre création variétale (réservée aux sélectionneurs, privés ou publics), multiplication des semences (agriculteurs spécialisés) et simple production agricole (agriculteurs consommateurs de semences, ayant perdu leur rôle de sélection et conservation de la diversité cultivée).

C'est dans ce contexte que se stabilise un paradigme scientifique concevant la variété homogène et stable comme l'unité naturelle de la génétique végétale et le must de l'agriculture « moderne » (Bonneuil et Thomas, 2009). Futur directeur de l'INRA, Bustarret définit la variété « du point de vue du phytotechnicien et de l'agronome », lequel distingue trois types de variétés : « *la variété-lignée pure, la variété clone et la variété population* » (Bustarret, 1944, p. 340), et privilégie l'homogénéité comme garante de la prévisibilité et stabilité de la valeur agronomique et technologique d'une variété. Bustarret déprécie par contre le monde imprévisible et multiple des variétés-populations, « *susceptibles de varier dans l'espace et dans le temps* ». Aussi se félicite-t-il qu'« *on cultive (...) sur des surfaces de plus en plus restreintes, ce qu'on appelle des blés, des avoines ou des orges 'de pays'* » (p.346). Il considère ces variétés populations comme « *des écotypes, issus de populations à l'intérieur desquelles a joué, pendant de très nombreuses générations successives cultivées dans le même milieu, la sélection naturelle* » (p.346). Le choix des mots est révélateur. En parlant de « sélection naturelle » plutôt que de sélection massale, Bustarret laisse dans l'ombre le fait que ces variétés de pays sont le fruit d'efforts et de savoirs de générations de paysans. Pour les modernisateurs de l'époque les agriculteurs ne sont pas reconnus comme acteurs de la production des variétés mais seulement comme utilisateurs finaux du travail des sélectionneurs spécialisés, privés ou publics. Cette vision de la variété s'enracine dans les méthodes expérimentales contrôlées de l'époque ainsi que dans une vision idéologiquement industrielle de l'agriculture. La variété homogène et fixée (lignée pure, clone ou hybride F1) devient un facteur de production isolable et standardisé, un « input » dans une agriculture pensée comme un système industriel de production. Le paradigme fixiste de la variété, qui va dominer longtemps la recherche et la réglementation, permet en somme de quitter l'espace-temps de l'évolution, des terroirs, des agriculteurs comme copilotes du vivant, pour entrer dans celui de la production moderne, c'est-à-dire industrielle, prévisible par le Plan et rationalisable par le laboratoire.

L'après-guerre inscrit ces visions dans la réglementation des semences et des variétés. Avec le décret du 11 juin 1949, seules peuvent être commercialisées les semences issues d'une variété inscrite au Catalogue officiel. Et pour être inscrite, la variété doit passer avec succès des épreuves « DHS » (distinction homogénéité stabilité) et « VAT » (Valeur agronomique et technologique, mesurant la bonne performance en condition de culture intensive et la bonne adaptation aux caractéristiques techniques souhaitées par l'aval industriel ou commercial). Cette réglementation va rayer de la carte les variétés de pays des grandes cultures et de nombreuses potagères dès le début des années 1960. Elles ne subsisteront que de façon résiduelle dans les paysages agricoles.

1.2. Le basculement vers un régime plus libéral de « profit génétique mondialisé »

Dans le cadre étroit de ce paradigme de « modernisation » et de recherche en génétique végétale (priviliégiant les lignées pures, puis les hybrides F1 à la fois homogènes, productifs et plus profitables aux semenciers du fait de l'impossibilité d'utiliser des semences de ferme de ces variétés), la recherche publique jouait cependant plusieurs missions de service public importantes. Elle apportait

- des méthodologies de recherche et des innovations variétales diffusées vers les coopératives (qui étaient soutenues contre les négociants privés) et les agriculteurs : les

variétés INRA suppléaient à l'absence d'innovation privée sur les espèces peu lucratives, et faisant concurrence aux obtenteurs privés sur les espèces lucratives, stimulant la recherche et tirant les prix vers le bas.

- une capacité d'évaluation des variétés dans le dispositif d'autorisation préalable à la mise sur le marché (après réforme, ce dispositif pourrait aujourd'hui permettre de privilégier des variétés adaptées à l'agriculture écologique)

Mais à partir des années 1970, on change de régime global de production et de régulation des savoirs et des innovations en génétique végétale. Au plan général, le modèle cogestionnaire et productiviste de développement agricole entre en crise à la fois sous le coup des aspirations alimentaires et environnementales nouvelles de la société et des logiques libérales (puissance de l'agro-business, libéralisation des marchés, économie de la demande, OMC devenant la dernière instance de décision sur le choix d'une agriculture avec ou sans OGM, etc.) et par la crise écologique et les aspirations citoyennes à une alimentation de qualité. Dans les laboratoires, la percée de la biologie moléculaire opère des changements dans la façon de connaître et de manipuler le vivant. Ce n'est plus la plante, la variété, mais le gène, qui devient l'unité fondamentale de travail des sélectionneurs et généticiens de l'INRA. La biologie moléculaire et les biotechnologies dans les années 1970 permettent d'intervenir à un niveau beaucoup plus fin, microscopique, sur le gène : on prend un gène dans une espèce et on le met dans une autre. Les premiers OGM, des bactéries, sont mis au monde dès 1973. Le gène devient alors l'unité fondamentale d'intervention et d'expérimentation sur le vivant. Le laboratoire prend le pas sur la station expérimentale comme lieu phare de la production de connaissances et de l'évaluation des variétés. Le gène devient aussi unité d'appropriation, et les industries semencières et biotechnologiques se lancent dans une course au brevet sur le vivant. Le secteur semencier se transforme. Ses industries grossissent, sont absorbées des géants de l'agrochimie et se concentrent pour aboutir à la situation d'aujourd'hui où Monsanto contrôle la quasi totalité du marché des semences OGM dans le monde. Aujourd'hui, l'ensemble des institutions publiques de recherches agronomiques du monde détiennent 24 % des brevets sur les innovations végétales, et pèsent moins que les numéros un et deux mondiaux du secteur, Monsanto et Dupont, qui en détiennent 25 %. Deux grandes compagnies possèdent plus que l'ensemble des institutions publiques dans le monde ! C'est une rupture par rapport aux années d'après-guerre lorsque, en génétique végétale, le secteur public jouait encore un rôle clé dans la production et la régulation des innovations. Même dans les recherches en amont, en génomique végétale, les capacités technologiques, les plateformes, les investissements s'élèvent à des milliards de dollars chez Dupont, Monsanto, Syngenta, Limagrain, Bayer, BASF... La recherche publique devient presque la cinquième roue du carrosse de la recherche et développement en innovation variétale. Dépassée par les ressources de la recherche privée, et contrainte de suivre ces modes et priorités de rentabilité à court terme, la recherche publique en génétique végétale, autrefois pilotée par l'Etat (avec sa conception d'alors de la modernisation), est aujourd'hui largement pilotée par les besoins (de profits) du marché mondial, tout en s'efforçant de préserver une apparence de recherche fondamentale et d'excellence académique. Cela représente un défi pour tous les chercheurs, les agriculteurs et les citoyens qui souhaitent réorienter l'innovation variétale vers des besoins d'intérêt public tels que la durabilité.

La concentration et la mondialisation du secteur semencier est aussi synonyme d'une moindre diversité. Une étude récente de la FRB montre que la diversité génétique des blés cultivés en France a baissé depuis les années 1980 alors que le nombre nominal de variétés augmentait (FRB, 2011). Les grandes firmes qui misent tout sur les OGM se concentrent sur un nombre restreint de gènes brevetés qu'elles mettent dans toutes les espèces et toutes les variétés. En dépit des promesses d'une 3^e génération d'OGM plus diversifiés, et près d'un quart de siècle après la première transformation génétique d'une plante cultivée, il reste

qu'aujourd'hui deux types de traits seulement – toxine insecticide et/ou gène de tolérance à un herbicide – représentent 99% des OGM cultivés dans le monde. Ces dernières décennies, et les OGM ont renforcé ce mouvement, ont vu se réduire les efforts de recherche sur les espèces les moins lucratives. Les recherches en biotechnologie et en génomique sont en effet marquées, plus que d'autres domaines, par le phénomène des rendements croissants : on a d'autant plus intérêt à travailler sur une espèce qu'elle est déjà très travaillée. Et, par exemple, produire une « huile d'olive » à partir du soja ! Certains tendent alors à voir l'essentiel de la diversité génétique végétale utile dans le seul génome de l'arabette dans lequel on pense pouvoir trouver une grande partie des gènes majeurs à haute valeur ajoutée agronomique que l'on introduira chez les autres espèces. Par ce rétrécissement des espèces travaillées, auquel s'ajoute l'éclatement des droits de propriété, on voit s'accroître le cercle des espèces orphelines d'innovation variétale privée faute de rentabilité suffisante. Ainsi l'ail, l'échalote, l'épinard, la fève, le céleri, la lentille, le persil, le potiron, la betterave fourragère, le sainfoin, la vesce, comptent chacune moins de 4 variétés inscrites au catalogue entre 2001 et 2005, loin derrière le maïs (686), la tomate (159), le blé tendre d'hiver (130) ou le colza oléagineux (108).⁴

La recherche publique, de plus en plus pilotée pour les intérêts privés de l'agro-industrie d'amont et d'aval, ne comble plus ces lacunes. Lancé dans le « tout OGM » (années 80 et 90) puis le « tout génomique » (années 2000), la recherche publique s'est fortement désinvestie de la création variétale. L'INRA est alors passé de la production d'innovations variétales diffusées vers les producteurs à la production de recherches et innovations moléculaires valorisées sur le marché de l'excellence académique internationale ou par brevet ou encore par contrats avec des géants industriels. Les usagers et partenaires des recherches génétiques de l'INRA ne sont plus les filières agricoles mais les géants de l'agrofourmiture, seuls à avoir les ressources requises pour utiliser les travaux pointus des laboratoires de l'INRA.

2. En finir avec la monoculture dans la recherche : Quels choix scientifiques d'avenir pour la génétique et biologie végétale publiques ?

Comment sortir de cette impasse ? Quelle marge de manœuvre pour une recherche publique plus libre, plus écologique, plus conforme à l'intérêt général ?

Premièrement, développer de nouvelles variétés génétiquement homogènes avec un seul gène modifié, que les bio-agresseurs –insectes, virus, champignons, 'mauvaises herbes'– sauront contourner en quelques années (fait basique de la génétique évolutive, confirmé par l'expérience de 60 ans de 'Révolution Verte' et de 15 ans de culture d'OGM), est-ce vraiment durable ? N'existe-t-il pas d'autres stratégies multigéniques valorisant les services de la biodiversité (hétérogénéité génétique et diversité des espèces dans chaque parcelle cultivée), qui s'appuient sur les avancées des recherches en écologie et évolution ?

Deuxièmement, comment remettre la recherche publique au service des agriculteurs et des citoyens plutôt que des seuls lobbies agro-chimiques et semenciers ? Comment en faire un levier de reconquête de biens communs plutôt que de privatisation du vivant ?

2.1. Quelles recherches en génétique pour des variétés adaptées à l'agriculture écologique

⁴ <http://www.geves.fr/>

L'histoire des espèces cultivées depuis le néolithique peut être décrite comme une coévolution, dirigée par l'homme, des espèces et des milieux de culture (Papy et Goldringer 2011). Cette histoire a connu de nombreuses ruptures, ou révolutions agricoles. Une des plus importantes a sans doute été la séparation de l'activité de semencier de celle d'agriculteur. Il y avait bien sûr d'excellentes raisons techniques à cela. Les semenciers pouvaient se perfectionner dans la production de semences au haut pouvoir germinatif, et mettre en œuvre les techniques de sélection qui, plus tard, intégreront les données de la génétique. Cependant ce qui n'a pas été mesuré, c'est la perte du mécanisme de base produisant la biodiversité. Comme Nicolai Vavilov a commencé à le montrer au début du XX^{ème} siècle, la domestication des plantes, puis leur culture a permis l'éclosion d'une immense diversité grâce à un subtil équilibre entre la reproduction locale des plantes, garantissant la divergence des populations (dans la plus pure tradition darwinienne) et les échanges génétiques entre champs (graines, pollen) et entre agriculteurs (via des échanges de graines), voire avec des formes sauvages proches (Cf. Beadle pour le Maïs & Pernès pour le Mil). Si le fait de laisser les semenciers seuls détenteurs des ressources génétiques améliorerait le fonctionnement technique du système, cela avait aussi pour conséquence de tarir le processus produisant la diversité des semences. Comme Darwin l'a fait remarquer, la sélection s'exerçant à chaque instant sur des milliards de plantes possède une puissance créatrice immense. Elle trie les variations favorables partout où elle agit. En limitant la reproduction aux seuls champs des semenciers, l'agriculture a commencé à mettre la poule aux œufs d'or en danger. Les semenciers ont beau savoir, et proclamer, que la diversité est leur matériau de base, qu'elle leur est nécessaire, ils ne peuvent pas réaliser à eux seuls le formidable travail qu'effectuait l'ensemble sélection-mutation-recombinaison sur des milliards de plantes. Ceux qui imaginent qu'avec quelques opérations de transgénèse (même des centaines), on peut en faire autant n'ont pas la notion quantitative du phénomène et se bercent de rêves technologiques sans fondement scientifique.

Il est d'ailleurs remarquable que, quand la diminution de la diversité des semences est devenue évidente, vers la moitié du XX^{ème} siècle, le *leitmotiv* à l'INRA ait été qu'il fallait « limiter l'érosion des ressources génétiques » ; comme si une telle érosion était inévitable. Quoi ? Ce que la nature a fait sans nous, ce que des paysans sans réelle culture scientifique ont réalisé depuis le néolithique, cette production de diversité, nous ne pouvons qu'en limiter la perte ? Quel manque d'ambition en termes de durabilité ! S'en suit une vision « minière » de l'agriculture, épuisant les ressources qu'elle utilise et tentant de les sauvegarder en les plaçant dans des banques de gènes.

Avec la globalisation économique, la concentration des entreprises, le problème est aujourd'hui devenu si patent que des solutions délirantes sont mises en œuvre, comme cette folle arche de Noé au Svalbard. Encore une fois, une mine dans laquelle on puisera faute de se donner les moyens de produire la diversité par nos méthodes. L'agriculture mondiale semble actuellement enlisée dans la dernière révolution technique du 20^{ème} siècle dite « Révolution Verte » poursuivant dans la recherche de toujours plus de productivité grâce aux promesses des biotechnologies. Pourtant, il semble bien que nous soyons à la croisée des chemins : le rapport « International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development » (IAASTD, évaluation réalisée par un groupe composé de 600 représentants des gouvernements, de la recherche institutionnelle, des entreprises et de la société civile) recommande de changer drastiquement de direction en développant massivement l'agro-écologie et la participation des paysans (Kiers et al. 2008). Après avoir présenté rapidement les fondements de l'agriculture productiviste, nous illustrerons ce que pourrait être un changement de direction.

C'est au cours de la première moitié du 20^{ème} siècle que s'est généralisé l'usage d'engrais azotés chimiques (grâce à la découverte de la synthèse d'ammoniaque à partir de l'azote de l'air) dans des systèmes spécialisés en céréaliculture au détriment des systèmes de polyculture-élevage (Papy 2008). Cet usage serait cependant resté limité à cause de la verse

des plantes lors de l'apport accru d'azote dans le sol si l'on n'avait pas découvert dans les années 50 des gènes de nanisme capables de raccourcir les pailles des céréales qui peuvent alors ainsi tenir encore debout après avoir reçu 300 kg/ha d'azote (cette découverte a valu le prix de Nobel de la paix à Norman Borlaug en 1970). Mais, si cette caractéristique permet une récolte mécanisée plus facile, elle fragilise les plantes qui, trop nourries, sont plus sensibles aux pathogènes et ravageurs, et trop courtes, ne concurrencent plus les adventices... Il faut donc apporter aussi des pesticides et des herbicides pour que le système se tienne. L'ensemble n'est économe, ni en intrants, ni en énergie fossile, mais il permet la simplification des rotations jusqu'à la monoculture (cf. aussi la fameuse rotation blé-colza plébiscitée dans la Beauce) et la maximisation des rendements (en grain). Dans ce contexte, les variétés sélectionnées sont naines elles, et transfèrent au grain toute l'énergie assimilée au détriment de l'appareil végétatif ou racinaire, peu utile dans ces conditions. Phénotypiquement, ces variétés se ressemblent donc entre elles, génétiquement, elles sont en tout cas chacune strictement homogènes pour pouvoir passer les critères d'inscription au catalogue (Distinction, Homogénéité, Stabilité). Ces variétés homogènes conviennent bien à des environnements standardisés par les pratiques culturales intensives. Mais comment dans ce contexte se différencier et concurrencer les autres sélectionneurs ? Les croisements entre variétés élites déjà présentes sur le marché et géniteurs performants associés à une évaluation d'une très grande précision dans des conditions expérimentales optimales sur de nombreux sites permettent de gagner progressivement sur le rendement tandis que l'introduction minutieuse par rétrocroisements d'un ou quelques gènes majeurs de résistance aux bio-agresseurs donne l'illusion d'un progrès constant sur la résistance aux maladies. Il ne s'agit cependant que d'une course pour rester sur place telle celle de la Reine Rouge dans Alice au Pays des Merveilles de Lewis Carroll, métaphore utilisée en évolution pour décrire la course aux armements entre espèces pour se maintenir « adapté » face à un environnement en perpétuelle évolution. Ainsi, à chaque fois qu'un gène majeur de résistance efficace est identifié et introduit dans une variété, il est aussitôt repris par l'ensemble de la sélection et généralisé à toutes les variétés inscrites. Or, plus il devient fréquent dans le paysage agricole, plus la pression de sélection exercée sur le pathogène est forte, et plus celui-ci « inventera » rapidement une parade pour contourner le gène. Ce phénomène a été très bien montré dans le cas d'un gène de résistance à la rouille jaune chez le blé en Europe (Bayles et al. 2000) et d'un gène de résistance au phoma chez le colza en France et en Australie (Sprague et al. 2006). Il est clair que ce mécanisme est d'autant plus fort que l'usage du gène est important et lorsque cet usage se généralise à plusieurs espèces et sur des millions d'ha à l'échelle mondiale tel que dans le cas des PGM, cela semble inévitable et inquiétant. En 2003, les cultures tolérantes au Roundup représentaient 58.7 millions d'ha dans le monde, en 2005, 87% des sojas sont résistants au Roundup aux USA, 99% en Argentine. Plus de 10 espèces d'adventice résistantes au Roundup ont infesté des milliers d'ha dans 22 Etats depuis 2000 (The New York Times, 6 Mai 2010). Comme l'histoire l'avait montré déjà depuis longtemps, il est clair que l'uniformité génétique des cultures augmente leur vulnérabilité aux bio-agresseurs et leur sensibilité aux facteurs environnementaux (pour une revue, Johnson 1961; Harlan 1972 ; Ullstrup ; Trenbath 1975 ; cités par Ostergaard et al 2009).

Dans l'esprit des recommandations de l'IAASTD, il doit s'agir au contraire de privilégier des recherches et des innovations qui prendraient en compte toute la complexité socio-écologique de l'agriculture. Cela repose sur l'application du principe de diversité à tous les niveaux de l'agro-écosystème depuis les micro-organismes du sol jusqu'aux variétés cultivées et aux produits transformés issus de l'agriculture, ce principe étant couplé avec un usage maximal des ressources renouvelables tandis que les ressources finies seront utilisées avec parcimonie, et le recyclage pratiqué à l'échelle la plus courte possible (Ostergaard et al. 2009). A l'opposé des monocultures, la biodiversité cultivée interspécifique est à réintroduire dans l'espace (plus d'espèces cultivées dans les paysages agricoles, y compris sur une même parcelle) et dans le temps (allongement et complexification des rotations). Cette diversité permet un meilleur contrôle des parasites, des ravageurs et des adventices, évitant l'usage des

pesticides, ainsi qu'une fixation de l'azote de l'air si l'on réintroduit des légumineuses. Si les mécanismes en jeu sont de mieux en mieux connus, il est indispensable de poursuivre les recherches pour en mieux comprendre le fonctionnement (par exemple, il serait crucial de caractériser les effets d'interaction allélopathique en conditions agronomiques, Doré et al. 2004) et soutenir le développement d'une agriculture écologique. Les effets bénéfiques de la biodiversité dans les cultures peuvent être illustrés à travers des résultats spectaculaires obtenus en termes de contrôle des maladies grâce aux cultures associées constituées de plusieurs espèces (Hauggaard-Nielsen et al. 2008) mais aussi aux cultures multi-génotypiques reposant sur la diversité génétique intra-spécifique (Mundt 2002; Kølster et al. 1989; Wolfe 1992; Zhu 2000 & 2005 ; voir Finckh & Wolfe 2006 pour une revue). En Chine, près d'un tiers de la surface agricole totale repose sur des cultures associées, souvent en combinaison avec des systèmes animaux. Les mécanismes réduisant le développement des maladies dans les cultures hétérogènes incluent les effets de distance entre plantes et de barrière physique, la résistance induite et d'autres effets de compensation (Finckh et Wolfe 2008). Au-delà du rôle de régulation sur les maladies, les ravageurs et les adventices, réduisant l'usage de pesticides, la diversité génétique intra-parcelle contribue à la stabilité de la production en quantité et en qualité (Hajjar et al. 2008 ; Tilmann et al. 1996). Par exemple, Mille et al. (2006) ont montré que des associations quaternaires de variétés de blé étaient plus stables en rendement que les cultures pures et d'une qualité boulangère équivalente ou même supérieure.

Alors que les paysans bio ou ceux qui cherchent à réduire les intrants adoptent de plus en plus les mélanges de variétés, les recherches manquent cruellement sur la manière de composer les associations, ainsi que sur la sélection d'ensemble de variétés qui seraient spécifiquement coadaptées pour être cultivées ensemble (complémentarité dans l'occupation de l'espace et l'exploitation des ressources, étalement des dates de floraison pour minimiser les risques climatiques,...).

Le développement de la diversité génétique intra-parcellaire constitue également une stratégie pour stabiliser la production dans un contexte d'accroissement de la variabilité climatique interannuelle. Alors que les associations de variétés ressemées chaque année à partir de quantités égales de semences de chaque composant du mélange permettent de « tamponner » les variations environnementales grâce à la complémentarité des composants, la culture en continu de ces mélanges ou bien de variétés populations hétérogènes génétiquement permettra l'évolution de la population en réponse aux pressions de sélection biotique et abiotique chaque année. Le principe est d'utiliser la capacité d'adaptation génétique de populations hétérogènes pour répondre à des environnements de plus en plus variables dans l'espace (si l'on réduit les intrants) et dans le temps. Ainsi, d'importantes évolutions phénotypiques et génétiques des résistances aux maladies, de la précocité, de la hauteur des plantes ont été observées dans une expérience à long terme de gestion dynamique de populations de blé cultivées dans un réseau de sites en France (Paillard et al 2000a & b, Goldringer et al. 2006 ; Rhoné et al. 2008 & 2010 ; voir Enjalbert et al. 2011 pour une revue). En plus de l'adaptation aux facteurs environnementaux reposant sur la réponse des populations à la sélection naturelle, le maintien ou le développement d'autres caractères d'intérêt pour les agriculteurs ou les utilisateurs (qualité des produits en particulier) reposent sur la sélection humaine. Des sélectionneurs pourraient s'engager dans la création de variétés populations adaptées à l'agriculture biologique gardant une capacité à encore évoluer chez les agriculteurs mais le plus souvent il s'agit de sélection en collaboration entre sélectionneurs / chercheurs et agriculteurs (voire transformateurs et consommateurs) appelée sélection participative, dans laquelle la sélection est décentralisée dans les fermes auxquelles sont destinées les variétés et à chaque étape, toutes les étapes de décisions sont prises en commun avec tous les participants. Des programmes de sélection participative initiés pour les environnements plus stressants dans certains pays du Sud (Ceccarelli et al. 2001 ; Sperling et al. 2001) se généralisent maintenant pour l'agriculture biologique (Murphy et al. 2005 ;

Chable & Berthelot 2006 ; Dawson et al. 2011). Alors que ces stratégies de gestion / sélection de la diversité cultivée doivent être adaptées finement à chaque situation (espèce, environnement, pratique culturale, contexte socio-économique,...), ces recherches restent marginales dans le paysage de la recherche agronomique.

Ces voies de recherche en sélection végétale, privilégiant la diversité génétique dans les champs et associant les agriculteurs ne sont pas dans les intérêts de la grande industrie semencière globalisée qui cherche à monopoliser le vivant et les semences et effectue un lobbying efficace sur les décideurs politiques qui définissent les orientations de la recherche publique. C'est pourquoi ces voies sont « omises » par le *Document d'Orientation 2010-2020 de l'INRA*⁵ (disponible en ligne sur son site <http://www.inra.fr/>). Elles offrent pourtant des perspectives scientifiquement passionnantes et socialement bénéfiques pour une véritable recherche publique, qui agirait en appui d'une agriculture durable et d'un tissu à redynamiser de PME et coopératives de sélection.

2.2. Reconstituer des biens communs et une capacité de création variétale publique

Alors que vers 1970, l'INRA mettait au point et commercialisait de nouvelles variétés chez 70 espèces différentes, la création variétale INRA se limite aujourd'hui à moins de 10 espèces, seulement à titre « méthodologique » et pour quelques caractères « cibles » (Lefort et Riba, 2003). Sous la double pression du lobbying des semenciers (en externe) et de la domination de la biologie moléculaire sur tout le secteur végétal de l'INRA (en interne). L'INRA a perdu ses capacités de création variétale, fermé ses programmes (comme celui visant à sélectionner des résistances aux maladies chez le blé), et laissé partir ses compétences sans les remplacer. Au niveau des cadres (« directeurs de recherche »), le secteur végétal se compose essentiellement de spécialistes de biologie moléculaire et génomique, sans compétence agronomique sur les niveaux plus intégrés de la plante entière, de la parcelle, du paysage⁶... Ce retrait INRA de la création variétale (non compensé par des plateformes et filiales de transfert limitées) abandonne la sélection des espèces rentables aux logiques privées ou bien se range au service de l'industrie en monopolisant des millions d'euros du budget de la recherche publique, et d'énormes moyens humains et expérimentaux comme c'est le cas dans les deux projets INRA sur Blé et sur Maïs soutenus par le programme « Investissements d'avenir⁷ » (9 ME chacun) et laisse les espèces non rentables orphelines de recherche. Cette régression de la capacité d'innovation publique en création variétale et gestion de la diversité cultivée va à l'encontre de l'intérêt général d'une agriculture durable, qui implique une diversification des espèces et des variétés dans les champs (cf. ci-dessus), mais aussi en bordure (plantes de bandes enherbées, de haies, etc., cf. Meynard et Jeuffroy, 2002). Aussi est-il crucial de revenir sur la « fondamentalisation/molécularisation » des recherches du département Génétique et amélioration des plantes (et de l'ensemble du secteur végétal de l'Inra), et de reconstituer une véritable capacité de recherche et innovation publique en création variétale. Cela suppose

- De ré-ouvrir des programmes de gestion / sélection dans le département Génétique et Amélioration des Plantes (avec réallocation en conséquence des moyens

⁵ Dans ce document, le métaprogramme annoncé sur l'agro-écologie ne comporte pas de volet concernant la diversité génétique dans les parcelles cultivées.

⁶ Le cas des recherches sur la vigne au centre Inra de Colmar est emblématique : comme les chercheurs, recrutés dans les années 1980 pour faire des OGM, ne savaient guère faire autre chose, la Direction de l'Inra a poussé coûte que coûte à maintenir un projet d'essai de vigne OGM en serre et en plein champ pour employer ces compétences, quitte à aller chercher en supplément des compétences de sociologues (pour la concertation et l'acceptabilité sociale) et une mini-expérimentation en viticulture bio (louable mais fort restreinte au regard des sommes moyens investis sur les voies biotechnologiques).

⁷http://www.inra.fr/presse/2_projets_a_long_terme_sur_ble_et_mais_subventionnes_par_programme_investissements_avenir

humains et financiers) en s'appuyant sur une vision renouvelée et élargie de la sélection (cf. 2.1).

- De revoir la gouvernance des plateformes de transfert. Celles-ci sont essentiellement conçues pour fournir, sous forme de prestation de service ses collections, ses méthodologies et ses moyens expérimentaux au service des entreprises privées de sélection. Il convient de concevoir la mission d'appui à l'innovation de la recherche publique de façon plus large, et d'en ouvrir la gouvernance aux régions, aux agriculteurs (dans leur diversité) et associations environnementales. Ces plateformes pourraient alors développer des programmes d'*innovation variétale pour la diversité et les agricultures écologiques* (cf. ci-dessus) en partenariat ouvert et égalitaire avec non seulement de grandes entreprises et coopératives, mais aussi des petites entreprises, des collectifs de producteurs (bio, AOC, semences paysannes, etc.), des agences de l'eau, des parcs naturels, des ONG, etc.

Les apports potentiels de la génomique et la sélection assistée par marqueur à ces dynamiques décentralisées d'innovation ne sont évidemment pas à exclure à priori, mais à mettre au service d'une conception systémique de l'agriculture. La mise au point de méthodologies participatives et efficaces de sélection et de conservation suppose enfin de véritables recherches partenariales et interdisciplinaires (agronomie, génétique, sciences sociales...).

Et, puis, jouer le jeu de l'appropriation du vivant et des semences par brevet comme le fait l'INRA, est-ce digne du service public ? Est-ce une voie d'avenir ? Aujourd'hui Monsanto et Dupont détiennent à eux deux plus de brevets sur les génomes végétaux que toutes les structures de recherche publique du monde réunies, et la capacité de recherche dans la génomique la plus Hi-Tech et fondamentale de ces entreprises est sans commune mesure avec celle de l'INRA, qui n'est donc plus que la 5^e roue du carrosse des biotechnologies mondiales. Dans ces conditions, plutôt que faire la course avec les Microsoft des semences brevetées sur leur terrain, pourquoi ne pas mettre les efforts et les deniers publics sur une autre voie, qui s'apparente à celle du logiciel libre, c'est-à-dire un système juridique subvertissant le brevet pour amener en tâche d'huile un nombre croissant d'acteurs à mutualiser leurs innovations et faire des semences des biens communs non appropriables par des logiques de profit (Kloppenburger, 2010). Un tel pari aurait pour effet de mobiliser des milliers de producteurs et citoyens, contributeurs bénévoles, retrouvant le goût d'accompagner les plantes à travers les générations, dans des dynamiques d'innovation distribuée qui constituent un nouveau moteur de la création aujourd'hui (von Hippel 2005, Benkler 2006 ; Baldwin & von Hippel, 2009). Une génétique végétale 2.0...

Conclusion

L'urgence environnementale (impacts négatifs des monocultures intensives, érosion de la biodiversité) est là ; les bases scientifiques (approches écologiques et évolutionnistes de la génétique, théorie des métapopulations, gestion dynamique, méthodologies de la sélection participative) sont là et à développer ; les partenaires (producteurs s'engageant dans l'aventure des agricultures écologiques, organismes et citoyens soucieux de campagnes vivantes, d'alimentation nourricière et de biodiversité cultivée prêts à se lancer dans mille réseaux participatifs décentralisés de science citoyenne) aussi.

En rompant avec la monoculture intellectuelle, en priorisant la génétique de la diversité sur la génétique de la standardisation, en préférant l'approche écologique et systémique au réductionnisme, en soutenant des collectifs de producteurs encore numériquement minoritaires mais porteurs d'avenir, en fabricant du bien commun plutôt que du vivant

breveté, l'INRA retrouverait alors dans le monde d'aujourd'hui le souffle et la mission publique qu'il avait su jouer après-guerre lorsqu'il investissait dans l'obtention, maintenait le droit de l'agriculteur, favorisait la mutualisation des ressources entre obtenteurs, et appuyait un mouvement coopératif semencier naissant ?

Sans cette nécessaire et profonde réorientation, la recherche publique s'enfermerait dans une dépendance mortifère vis-à-vis des géants agrochimico-semenciers, et perdrait ce qui lui reste de crédibilité et de légitimité auprès de la société.

Références

- Allaire G. 1995. « De la productivité à la qualité, transformations des conventions et des régulations dans l'agriculture et l'agro-alimentaire », in Allaire G., Boyer R. (Eds), *La grande transformation de l'agriculture*, INRA-Economica, Paris.
- Baldwin Carliss Y. & von Hippel Eric A. 2009. "Modeling a Paradigm Shift: From Producer Innovation to User and Open Collaborative Innovation", MIT Sloan Research Paper No. 4764-09
- Bayles, Rosemary A., Kerstin Flath, Mogens S. Hovmøller, and Claude de Vallavieille-Pope. 2000. "Breakdown of the Yr17 resistance to yellow rust of wheat in northern Europe." *Agronomie* 20 (7): 7. Doi:10.1051/agro:2000176.
- Benkler, Y. 2006. *The wealth of networks. How social production transform markets and freedom*. Hew Haven, Yale Univ. Press (téléchargeable gratuitement en ligne)
- Bonneuil C., Thomas F., 2009, *Gènes, Pouvoirs et Profits*, Quae-FPH.
- Bonneuil C. et Thomas F., 2010. « Purifying Landscapes: The Vichy Regime and the Genetic Modernization of France », *Historical Studies in Natural Sciences*, Vol. 40, No. 4, 532-568.
- Brush S (ed.) 2000. *Genes in the field. On-farm conservation of crop diversity*. IPGRI, IDRC and Lewis Publishers.
- Bustarret J., 1944, « Variétés et variations », *Annales agronomiques*, 14 : 336-362.
- Ceccarelli, S. ; Grando, S. ; Bailey, E. ; Amri, A. ; El-Felah, M. ; Nassif, F. ; Rezgui, S. ; Yahyaoui, A. 2001 Farmer participation in barley breeding in Syria, Morocco and Tunisia. *Euphytica*, 122, 521–536.
- Chable V, Berthelot JF (2006) La sélection participative en France : présentation des expériences en cours pour les agricultures biologiques et paysannes. Les Dossiers de l'Environnement de l'INRA, n°30 p128-139.
- Dawson JC, Rivière P, Berthelot JF, Mercier F, de Kochko P, Galic N, Pin S, Serpolay E, Thomas M, Giuliano S & I Goldringer (2011) Collaborative Plant Breeding for Organic Agricultural Systems in Developed Countries. *Sustainability* 3: 1206-1223; DOI:10.3390/su3081206.
- Doré T., Sene M., Pellissier F., Gallet C., 2004. Approche agronomique de l'allélopathie, *Cahiers d'agriculture*, 13, 1-8.
- Enjalbert J, Dawson JC, Paillard S, Rhoné B, Rousselle Y, Thomas M, Goldringer I (2011) Dynamic management of crop diversity: From an experimental approach to on-farm conservation. *C. R. Biologies* 334: 458–468.
- Finckh MR, Wolfe MS. Diversification strategies, in *The Epidemiology of Plant Disease*, ed. by Cooke BM, Gareth Jones D, Kaye B. Springer, pp. 269-308 (2006).

- Fondation de Recherche pour la Biodiversité (FRB), 2011. *Vers l'élaboration de tableaux de bord de suivi de la diversité génétique des plantes cultivées - Synthèse et application des indicateurs existants dans le cas du blé tendre cultivé sur le territoire français depuis un siècle*. Paris, Fondation de Recherche pour la Biodiversité.
- Gall E., Millot G., Neubauer C., 2009. « *Faiblesse de l'effort français pour la recherche dans le domaine de l'Agriculture Biologique : approche scientométrique* » *Innovations Agronomiques* 4, 363-375
- Goldringer I, Enjalbert J, David J, Paillard S, Pham JL, Brabant P (2001). Dynamic management of genetics resources: a 13-year experiment on wheat. In: Cooper HD, Spillane C, Hodgkin T (Eds) *Broadening the Genetic Base of Crop Production*. IPGRI/FAO: 245-260.
- Goldringer I, Prouin C, Rousset M, Galic N & I Bonnin (2006) Rapid differentiation of experimental populations of wheat for heading-time in response to local climatic conditions. *Annals of Botany* 98: 805–817
- Hajjar R, Jarvis DI, Gemmill-Herren B. The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services. *Agric Ecosyst Envt*; **123**: 261-270 (2008).
- Harlan JR, Genetics of disaster. *J Environ Qual* 1:212–215 (1972).Hauggaard-Nielsen H, Jørnsgaard B, Kinane J, Jensen ES. Grain legume-cereal intercropping: The practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*; 23: 3-12 (2008).
- Henry J.P., Pontis C., David J.L., and Gouyon P.H., 1991. An experiment on dynamic conservation of genetic resources with metapopulations. In A. Seitz, V Loeschcke (eds.) *Species conservation : A population biological approach*. Birkhäuser verlag, Basel, 185-198.
- Johnson T (1961) Man-guided evolution in plant rusts. *Science* 133:357–362. Joly, P-B, Hervieu B. 2003, « La marchandisation du vivant. Pour la mutualisation des recherches en génomique », *Futuribles*, n° 292 (déc. 2003) : 5-30.
- Kiers ET, Leakey RRB, Izac A-M, Heinemann JA, Rosenthal E, Nathan D, et al., Agriculture at a crossroads. *Science* 320:320–321 (2008).
- Kloppenborg, Jack, Jr. 2010. "Impeding dispossession, enabling repossession: biological open source and the recovery of seed sovereignty." *Journal of Agrarian Change* 10:3 (July): 367-388.
- Kølster P, Munk L, Stølen O. Disease severity and grain yield in barley multilines with resistance to powdery mildew. *Crop Science*; 29: 1463 (1989).Lefort M. et Riba G. 2003. *Quelles perspectives pour l'innovation variétale à L'INRA*. INRA, Mai 2003
- Meynard J.-M., Jeuffroy M.-H. 2002. « Progrès génétique et agriculture durable ». *Le sélectionneur français*, 53 : 69-82
- Mille B., Belhaj Fraj M., Monod H., De Vallavieille-Pope C., 2006. Assessing four-way mixtures of winter-wheat cultivars from the performances of their two-way and individual components. *European Journal of Plant Pathology*, 114, 163-173.
- Mundt CC. Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease management. *Annu Rev Phytopathol*; **40**: 381-410 (2002).Murphy, K.M. ; Lammer, D. ; Lyon, S.R. ; Carter, B. ; Jones, S.S. 2005 Breeding for organic and low-input farming systems : An evolutionary-participatory breeding method for inbred cereal grains. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 20, 48–55.
- Ostergard, H, MR Finckh, L Fontaine, I Goldringer, SP Hoad, K Kristensen, ETL van Bueren, F Mascher, L Munk, and MS Wolfe. 2009. "Time for a shift in crop production: embracing complexity through diversity at all levels." *Journal of Agricultural & Food Information* 89 (9) (July): 1439-1445. doi:10.1002/jsfa.3615.

- Paillard S, Goldringer I, Enjalbert J, Doussinault G, de Vallavieille-Pope C, Brabant P (2000) Evolution of resistance against powdery mildew in winter wheat populations conducted under dynamic management. I- Is specific seedling resistance selected ? *Theor. Appl. Genet.* 101: 449-456.
- Paillard S, Goldringer I, Enjalbert J, Trottet M, David J, de Vallavieille-Pope C, Brabant P (2000) Evolution of resistance against powdery mildew in winter wheat populations conducted under dynamic management. II- Adult resistance. *Theor. Appl. Genet.* 101: 457-462.
- Papy F. 2008. Agriculture et industrialisation. In : Encyclopaedia Universalis, Universalis, Paris.
- Papy F., Goldringer I., 2011. « Cultiver la biodiversité », *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, n°60 : 55-62.
- Rhoné B, Remoué C, Galic N, Goldringer I, Bonnin I. (2008) Insight into the genetic bases of climatic adaptation in experimentally evolving wheat populations. *Mol. Ecol.* 17, 930–943.
- Rhoné B, Vitalis R, Goldringer I, Bonnin I. (2010) Evolution of flowering time in experimental wheat populations: a comprehensive approach to detect genetic signatures of natural selection. *Evolution* 64-7: 2110–2125
- Sperling, L. ; Ashby, J.A. ; Smith, M.E. ; Weltzien, E. ; McGuire, S. 2001 A framework for analyzing participatory plant breeding approaches and results. *Euphytica*, 122, 439–450.
- Sprague, Susan J., Marie-Hélène Balesdent, Hortense Brun, Helen L. Hayden, Stephen J. Marcroft, Xavier Pinochet, Thierry Rouxel, and Barbara J. Howlett. 2006. Major gene resistance in *Brassica napus* (oilseed rape) is overcome by changes in virulence of populations of *Leptosphaeria maculans* in France and Australia. *European Journal of Plant Pathology* 114 (1): 33-40. doi:10.1007/s10658-005-3683-5.
- Tilman D, Wedin D, Knos J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*; **379**: 718-720 (1996)
- Trenbath BR (1975) Diversify or be damned. *Ecologist* 5:76–83. Ullstrup AJ (1972) The impacts of the Southern corn leaf blight epidemics of 1970–1971. *Annu Rev Phytopathol* 10:37–50. Von Hippel E. 2005. *Democratizing Innovation*, MIT Press.
- Wolfe MS. Barley diseases: Maintaining the value of our varieties, in *Barley Genetics VI*, ed. by Munk L. Munksgaard Int. Publishers, Ltd., Copenhagen, pp. 1055-1067 (1992). Wolfe, M.S. ; Baresel, J.P. ; Desclaux, D. ; Goldringer, I. ; Hoad, S. ; Kovacs, G. ; Löschenberger, F. ; Miedaner, T. ; Østergard, H. ; Lammerts van Bueren, E.T. 2008 Developments in breeding cereals for organic agriculture. *Euphytica*, 163, 323–346.
- Zhu Y, Chen H, Fan J, Wang Y, Li Y, Chen J et al. Genetic Diversity and Disease Control in Rice. *Nature*; **406**: 718-722 (2000). Zhu Y, Fang H, Wang Y, Fan JX, Yang S, Mew TW et al. Panicle blast and canopy moisture in rice cultivar mixtures. *Phytop*; **95**: 433-438 (2005).