

Isabelle GOLDRINGER

Directrice de recherches Inra

Jérôme ENJALBERT

Chargé de recherches Inra

Pierre RIVIÈRE

Doctorant DIM ASTREA

Julie DAWSON

Post-doc, Université Cornell

Recherche participative pour des variétés adaptées à une agriculture à faible niveau d'intrants et moins sensibles aux variations climatiques

1. Plus de diversité génétique dans les champs pour une agriculture plus durable

Au cours des 50 dernières années, l'homogénéisation a été le paradigme dominant de l'agriculture dans les pays industrialisés, associant la culture de peuplements génétiquement homogènes à l'utilisation intensive d'intrants pour compenser les hétérogénéités environnementales. Ce modèle est de plus en plus remis en question, notamment avec la prise de conscience du changement global auquel l'agriculture doit faire face. Il devient impératif de réduire les coûts économiques et l'impact environnemental¹ des pratiques agricoles, tout en régularisant la production des cultures, ce malgré la plus grande stochasticité des conditions environnementales² induite par le changement climatique. Un nouveau modèle d'agriculture durable doit être trouvé. Les conclusions du Grenelle de l'environnement sont notamment^{3,4} que ce modèle devra s'appuyer sur une meilleure utilisation du fonctionnement écologique des agro-écosystèmes.

La diversité génétique devrait jouer un rôle essentiel dans ce modèle, en contribuant à l'adaptabilité et à la résilience face aux stress dans des systèmes à bas intrants^{5,6} :

- les variétés sélectionnées pour leur haute productivité dans des conditions de culture intensive ont peu de chance d'être adaptées à des conditions plus variables, spécialement dans un contexte de réduction des intrants. Il est attendu de la diversité génétique une régularité de la production et une adaptabilité à des conditions changeantes – même si ces prédictions théoriques ont été insuffisamment évaluées en pratique⁷ ;
- la durée de vie des variétés commerciales est de l'ordre de cinq ans, et les gènes de résistance aux maladies sont contournés dès qu'ils sont déployés sur une certaine surface de culture. L'association en mélange de variétés porteuses de gènes de résistance différents, et de façon générale, l'accroissement de la diversité génétique des peuplements, doit permettre d'augmenter la durabilité des résistances^{8,9} et de prolonger l'utilisation de ces variétés.;
- la variabilité génétique des plantes cultivées est susceptible de favoriser la diversité spécifique et infra-spécifique des autres communautés d'un agro-écosystème, et ainsi d'améliorer les services écologiques (contrôle des

maladies ; régulation des phytophages, symbioses mycorhiziennes, fertilité du sol...)=

La réduction des intrants induit plus de différences entre les milieux et entre les conditions de culture, et les environnements pour lesquels on cible la sélection (environnements cibles) deviennent alors trop différents entre eux pour qu'il soit possible de sélectionner une seule variété qui soit performante partout^{10,11}. De nombreuses expériences montrent que des génotypes différents répondent différemment lorsqu'on les confronte à des environnements très contrastés (interaction Génotype x Environnement, GxE). Il convient alors de développer des variétés ou populations adaptées spécifiquement aux conditions locales (environnement, sol, climat, pratiques agricoles, débouchés...) et/ou génétiquement hétérogènes et donc plus adaptables aux milieux différents. Dans ces conditions, on est incapable de prédire la performance des populations et des variétés dans leurs milieux cibles à partir d'une évaluation en conditions optimales (ex : station expérimentale de sélection). C'est pourquoi seules une évaluation et une sélection décentralisées, c'est-à-dire réalisées dans les environnements cibles avec une analyse des interactions GxE, permettront d'identifier les meilleures variétés ou populations pour chaque environnement cible¹².

2. Décentralisation de la sélection et sélection participative

Les stratégies reposant sur la décentralisation du processus de sélection sont souvent associées à la mise en œuvre d'une sélection participative^{10,13} car elle permet d'intégrer la sélection dans de nombreux sites d'expérimentation où les agriculteurs ont une connaissance spécifique des conditions environnementales, des milieux et des caractéristiques des plantes qui sont adaptées à ces conditions. L'exploitation des interactions GxE pour développer des variétés adaptées localement à travers la sélection décentralisée et participative a été proposée comme une solution pour le développement de variétés pour les systèmes biologiques et à faibles intrants. La base pour de nombreux projets de sélection participative portant sur les plantes cultivées réside dans l'utilisation de la diversité génétique présente dans les variétés locales et paysannes et dans la valorisation des connaissances spécifiques des paysans et de leur évaluation des caractères importants dans leur environnement agricole. Dans les pays développés, l'intérêt pour la sélection et la conservation à la ferme a émergé dans le contexte de l'agriculture biologique et à faibles intrants en raison des nombreux défis rencontrés, tels que des conditions environnementales plus hétérogènes, l'absence de variétés adaptées et le manque d'intérêt de la part du secteur privé pour la production de variétés pour ces systèmes, défis auxquels sont moins soumis les systèmes conventionnels^{14,15}.

Dans les pays développés, ce sont donc les agriculteurs biologiques qui ont engagé le développement de la gestion de la diversité cultivée à la ferme et de la sélection participative¹⁶. En France, les agriculteurs impliqués dans cette démarche se sont regroupés au sein de l'association Réseau Semences Paysannes (RSP), une association d'agriculteurs et d'amateurs dédiée à la conservation, la culture et l'échange des variétés cultivées¹⁷. Les agriculteurs impliqués dans ce réseau cultivent des variétés anciennes et des variétés de pays parce qu'elles conviennent mieux à leurs pratiques culturelles et en raison de leurs caractéristiques de qualité supérieures pour la transformation à la ferme et la vente directe aux consommateurs. Ils sont aussi fortement engagés dans des démarches pour préserver la biodiversité, avec quelques agriculteurs qui cultivent plus de 200 variétés différentes dans des petites parcelles (5 m²) et qui, en permanence, expérimentent d'autres variétés

issues de banques de graines et de collections différentes. Thomas *et al.*¹⁸ ont montré qu'un petit groupe d'agriculteurs qui cultivent ces types de variétés populations peut apporter une contribution significative à la conservation de la diversité génétique par rapport à la diversité présente dans des accessions conservées à l'identique dans des banques de graines. La gestion à la ferme de ces différentes variétés est une méthode efficace de conservation *in situ* qui préserve aussi les processus d'évolution¹⁹⁻²³.

Lors de la construction de programmes de sélection participative, il est important de connaître la façon dont la gestion et la sélection à la ferme affectent la diversité des espèces cultivées, et l'un des objectifs est d'optimiser ces pratiques à la fois pour la conservation des ressources génétiques et pour le développement de variétés bien adaptées. Le projet de sélection participative de variétés de blé sur lequel nous travaillons a été développé pour répondre aux besoins de paysans-boulangers et pour créer des collaborations durables qui valorisent les connaissances et les compétences particulières des agriculteurs et des chercheurs dans l'amélioration participative des plantes.

3. Intérêt de la sélection massale paysanne

Dans le cadre de ce programme de sélection participative de variétés et populations de blé tendre, nous avons évalué la réponse à la sélection massale (sélection d'épis ou de plantes au sein de variétés ou populations) effectuée par des paysans dans différents types de variétés : populations issues de croisements, variétés de pays, variétés anciennes et variétés récentes²⁴. Pour cela, nous avons comparé les descendances issues des plantes sélectionnées à celles issues de plantes échantillonnées au hasard²⁴.

Un caractère tel que la hauteur des plantes est très facile à observer dans les champs, et les paysans ont souvent choisi des plantes plus hautes que la moyenne de la parcelle mais qui n'avaient pas versé. La majorité des agriculteurs impliqués dans ce réseau expliquent qu'ils souhaitent des variétés vigoureuses et compétitives vis-à-vis des adventices en sortie d'hiver, mais assez fortes pour ne pas verser. Le poids de grain par épi semble relativement facile à évaluer au champ et nous avons presque toujours observé que les épis choisis étaient plus lourds que les épis aléatoires. Le poids de 1 000 grains a également été souvent sélectionné positivement, ce qui peut paraître assez surprenant car il est difficile d'estimer visuellement le poids de 1 000 grains d'un épi sans avoir accès au grain. Cela montre que la capacité des agriculteurs à estimer la santé des plantes et leurs performances peut permettre de discriminer entre plantes individuelles, même pour des caractères qui sont plus subtils que la hauteur des plantes.

Certains caractères n'ont pas répondu à la sélection dans les populations en génération précoce issue des croisements, ou bien ont changé dans le sens opposé à celui souhaité, telle la distance entre la feuille drapeau et la base de l'épi. Cela peut signifier que pour certains caractères il sera plus efficace d'attendre une génération plus tardive pour appliquer la sélection, et l'intérêt de la collaboration avec les chercheurs est d'identifier les traits qui répondent à la sélection et le stade optimal, ainsi que ceux qui ne répondent pas et de proposer des méthodes faciles à adopter aux champs pour éviter d'avoir des évolutions indésirables dans les populations.

Parmi les variétés étudiées, une variété ancienne, Rouge de Bordeaux (RB), a répondu positivement à la sélection pour la hauteur des plantes et le poids de grain alors qu'une variété de pays, Blé de Redon (RD), et la variété moderne, Renan (RN),

n'avaient pas répondu, bien que les paysans aient choisi les épis qui présentaient les valeurs recherchées pour ces caractères. Cette différence dans la capacité des variétés à répondre à des pressions de sélection est en accord avec l'observation des agriculteurs que RB était l'une des variétés qui se comportait très bien à l'extérieur de sa zone d'origine, traduisant une plus grande adaptabilité comparée à des variétés de pays comme RD. Cela est aussi cohérent avec l'observation, au niveau moléculaire, du fait que la diversité génétique intra-variétale des populations de RB conduites à la ferme était élevée¹⁸. Au contraire, l'échantillon spécifique de RD utilisé pour cette étude est parti d'un faible nombre d'épis sélectionnés dans des accessions du centre de ressources génétiques de l'Inra de Clermont-Ferrand, ce qui a peut-être induit ainsi un goulot d'étranglement génétique et une réduction du potentiel adaptatif. La conservation *ex situ* dans des banques de gènes peut conduire à une réduction de la diversité génétique due à de la dérive génétique rencontrée avec des petits échantillons^{25,26}. Le manque de réponse à la sélection de RN n'est pas surprenant puisque cette variété, inscrite au catalogue officiel des variétés, est très homogène génétiquement.

Des réponses significatives ont été observées après seulement un cycle de sélection à la ferme, mais ce résultat dépend de la variété, et une diversité génétique suffisante doit être présente pour que la sélection ait un impact²⁴. Comme la sélection paysanne est basée sur une évaluation plus globale des plantes et des populations, et que cela a souvent produit des changements agronomiques favorables à partir de l'expérience des paysans du RSP pendant plusieurs années, il semble que les mesures quantitatives et les analyses doivent se focaliser sur les caractères qui sont difficiles à évaluer par les agriculteurs (tel que la teneur en protéines) ou bien qui répondent de façon non satisfaisante à leur sélection. Ces mesures quantitatives peuvent aussi être utilisées après la sélection pour suivre les changements d'une génération à la suivante, ou pour documenter et caractériser ces populations au cours du temps, notamment pour les caractères qui présentent des corrélations négatives.

4. Perspectives pour la sélection participative de variétés adaptées à des pratiques agricoles à faibles intrants

Les agriculteurs basent leur sélection sur les connaissances qu'ils ont du fonctionnement de leurs systèmes agricoles spécifiques ainsi que sur leur évaluation intuitive des performances globales des plantes sur leur ferme. En sélection participative, cette caractérisation des populations est complétée grâce à l'analyse scientifique de la variation des caractères d'intérêt entre et au sein des populations et à travers la mesure de la réponse à la sélection de ces caractères dans les populations. Une approche combinant l'évolution des populations sous l'effet de la sélection naturelle associée à une sélection dirigée des agriculteurs sur ces populations, pourra ainsi être efficace pour développer des variétés adaptées aux systèmes de culture à faible niveau d'intrants et présentant certains stress particuliers tels qu'une alimentation limitée en eau²⁷.

Certains caractères risquent de ne pas être favorisés par la sélection naturelle et nécessitent une sélection consciente pour maintenir les performances et la qualité des variétés. La valeur des variétés de pays réside dans leur histoire associée à la sélection paysanne et à l'adaptation à des conditions environnementales diverses partout dans le monde, dans leur capacité à évoluer continuellement et dans leur résilience dans des conditions environnementales difficiles. Ce processus créatif de développement de variétés à travers la sélection à la ferme a été en grande partie

perdu dans les systèmes agricoles industriels. La sélection collaborative dans les pays développés, à partir de variétés de pays existantes ou bien de nouvelles populations développées par croisements ou de mélanges paysans, pourrait renouveler ce processus, en revalorisant les savoirs liés à la sélection et à l'autonomie dans la production de semences pour les communautés paysannes. Ce processus continu d'évolution des espèces cultivées est une clé de l'adaptation des cultures au changement climatique et aux stress environnementaux complexes qui sont présents dans les systèmes agricoles biologiques et à faible niveau d'intrants, dans les pays développés et en développement. La sélection à la ferme avec des paysans qui sont aussi meuniers et/ou boulangers ou bien qui travaillent en circuit court avec eux, est aussi un élément fondamental pour développer des variétés qui ont les caractéristiques appropriées pour faire des pains artisanaux de qualité élevée et des produits régionaux.

Même si ces populations ont été initiées par un agriculteur et le groupe de recherche, elles peuvent être testées et sélectionnées par d'autres agriculteurs dans de nombreuses fermes. L'échange d'observations et d'idées entre participants dans le projet de sélection collaborative s'est avéré très riche à la fois pour les agriculteurs et pour les scientifiques, soulignant la valeur d'une approche de l'amélioration des plantes en réseau, plutôt qu'une approche où les communications se feraient entre agriculteurs individuels et l'institut de recherche. Grâce au fait que le projet a été initié et piloté par les agriculteurs, il a une durabilité bien supérieure à un projet lié à des subventions ou sources de financement particulières. En travaillant dans ce réseau, nous espérons accroître l'autonomie des agriculteurs pour la création de variétés et développer un processus durable d'innovation variétale, ne conduisant pas nécessairement à de nouvelles variétés fixées, mais plutôt à des populations hétérogènes bien adaptées dans chaque ferme, et qui continueront d'évoluer. C'est une voie de recherche qui rencontre actuellement une reconnaissance croissante dans les systèmes agricoles industrialisés²⁸. Cette approche constitue notamment l'un des axes du projet de recherche européen SOLIBAM (Strategies for Organic and Low-input Integrated Breeding and Management²⁹) dans lequel une partie des résultats présentés plus haut ont été obtenus.

À lire

1. D. Tilman *et al.*, « Forecasting agriculturally driven global environmental change », *Science* n° 292, 2001, p. 281-284.
2. R. Alley *et al.*, « Abrupt climate change », *Science* n° 299, 2003.
3. D. Tilman, K. Cassman, P. Matson, R. Naylor, S. Polasky, « Agricultural sustainability and intensive production practices », *Nature* n° 418, 2002, p. 671-677.
4. B. Chevassus, M. Griffon, « La nouvelle modernité : une agriculture productive à haute valeur écologique » *Demeter - Économie et stratégies agricoles*, 7 (48), 2008.
5. R. Hajjar, D. Jarvis, B. Gemmill-Herren, « The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services », *Agriculture, Ecosystems and Environment* n° 123, 2008, p. 261-270.
6. L. Carvalheiro *et al.*, « Natural and within-farmland biodiversity enhances crop productivity », *Ecology Letters* n° 14, 2011, p. 251-259.

7. C. Mundt, « Performance of wheat cultivars and cultivar mixtures in the presence of *Cephalosporium stripe* », *Crop Protection* n° 21, 2002, p. 93-99.
8. C. de Vallavieille-Pope, « Management of disease resistance diversity of cultivars of a species in single fields : controlling epidemics », *Comptes rendus biologiques* n° 327, 2004, p. 611-620.
9. L. Kiaer, I. Skovgaard, H. Ostergard, « Grain yield increase in cereal variety mixtures : A meta-analysis of field trials », *Field Crops Research* n° 114, 2009, p. 361-373.
10. S. Ceccarelli, S. Grando, E. Bailey, A. Amri, M. El-Felah, F. Nassif, S. Rezgui, A. Yahyaoui, « Farmer participation in barley breeding in Syria, Morocco and Tunisia », *Euphytica* n° 122, 2001, p. 521-536.
11. S. Ceccarelli, « Specific adaptation and breeding for marginal conditions », *Euphytica* n° 77, 1994, p. 205-219.
12. S. Ceccarelli, « Positive interpretation of genotype by environment interactions in relation to sustainability and biodiversity. In Plant adaptation and crop improvement », in M. Cooper, G.L. Hammer, (éds.), *CAB International*, 1996, p. 467-486.
13. L. Sperling, J.A. Ashby, M.E. Smith, E. Weltzien, S. McGuire, « A framework for analyzing participatory plant breeding approaches and results », *Euphytica* n° 122, 2001, p. 439-450.
14. D. Desclaux, « Participatory plant breeding methods for organic cereals. Proceedings of the COST SUSVAR/ECO-PB Workshop on Organic Plant Breeding Strategies and the Use of Molecular Markers », in E.T. Lammerts Van Bueren, H. Ostergard (éds.) *Driebergen (NK)*, 17-19 Janvier 2005, p. 17-23.
15. M.S. Wolfe, J.P. Baresel, D. Desclaux, I. Goldringer, S. Hoad, G. Kovacs, F. Löschenberger, T. Miedaner, H. Østergard, E.T. Lammerts van Bueren, « Developments in breeding cereals for organic agriculture », *Euphytica* n° 163, 2008, p. 323-346.
16. A. Osman, V. Chable, « Inventory of initiatives on seeds of landraces in Europe », *Journal of Agriculture and Environment for International Development* n° 103, 2009, p. 95-130.
17. R. Bocci, V. Chable, « Peasant seeds in Europe : stakes and prospects », *Cahiers agriculture* n° 17, 2008, p. 216-221.
18. M. Thomas, E. Demeulenaere, J.C. Dawson, A.-R. Khan, N. Galic, S. Jouanne-Pin, C. Remoue, C. Bonneuil, I. Goldringer, « On-farm dynamic management of genetic diversity : the impact of seed diffusions and seed saving practices on a population-variety of bread wheat », *Evolutionary Applications*, 2012.
19. C.J.M. Almekinders, W. de Boef, J. Engels, « Synthesis between crop conservation and development. In Encouraging Diversity : The conservation and development of plant genetic resources », in C. Almekinders, W. de Boef, (éds.) *Intermediate Technology Publications*, Londres, 2000, p. 330-338.
20. J. Berthaud, J.C. Clément, L. Empeaire, D. Louette, F. Pinton, J. Sanou *et al.*, « The role of local level gene flow in enhancing and maintaining genetic diversity. In Broadening the Genetic Base of Crop Production », in H.D. Cooper, C. Spillane, T. Hodgkin (éds), *IPGRI/FAO*, Rome, 2001, p. 81-103.
21. M. Elias, D. McKey, O. Panaud, M.C. Anstett, T. Robert, « Traditional management of cassava morphological and genetic diversity by the Makushi Amerindians (Guyana, South America) : perspectives for on-farm conservation of crop genetic resources », *Euphytica* n° 120, 2001, p. 143-157.

22. D. Louette, A. Charrier, J. Berthaud, « In situ conservation of maize in Mexico : genetic diversity and maize seed management in a traditional community », *Economic Botany* n° 51, 1997, p. 20–38.
23. M.E. Smith, G., F. Castillo, F. Gomez, « Participatory plant breeding with maize in Mexico and Honduras », *Euphytica* n° 122, 2001, p. 551–565.
24. J.C. Dawson, P. Rivière, J.F. Berthelot, F. Mercier, P. de Kochko, N. Galic, S. Pin, E. Serpolay, M. Thomas, S. Giuliano, I. Goldringer, « Collaborative Plant Breeding for Organic Agricultural Systems in Developed Countries », *Sustainability* 3 (8), 2011, p. 1206-1223.
25. H.K. Parzies, W. Spoor, R.A. Ennos, « Genetic diversity of barley landrace accessions (*Hordeum vulgare* ssp. *vulgare*) conserved for different lengths of time in ex situ gene banks », *Heredity* n° 84, 2000, p. 476–486.
26. B. Horneburg, H.C. Becker, « Crop Adaptation in On-Farm Management by Natural and Conscious Selection : A Case Study with Lentil », *Crop Science* n° 48, 2008, p. 203–212.
27. K.M. Murphy, D. Lammer, S.R. Lyon, B. Carter, S.S. Jones, « Breeding for organic and low-input farming systems : An evolutionary-participatory breeding method for inbred cereal grains », *Renewable Agriculture and Food Systems* n° 20, 2005, p. 48–55.
28. T.F. Döring, S. Knapp, G. Kovacs, K. Murphy, M.S. Wolfe « Review: Evolutionary Plant Breeding in Cereals—Into a New Era », *Sustainability*, 3 (10), 2011, p. 1944-1971.
29. SOLIBAM, Collaborative Project (large-scale integrating project) FP7 2010 – 2015, <http://www.solibam.eu/modules/addresses/viewcat.php?cid=1>.