

## La biodiversité des champs

### Ressource productive pour les agricultures de demain

François Papy<sup>(1)</sup> et Isabelle Goldringer<sup>(2)</sup>

(1) Membre de l'Académie d'Agriculture (papy.francois@numericable.fr)

(2) UMR de génétique végétale, Le Moulon, Inra (isa@moulon.inra.fr)

Regard [R21](#), édité par Anne Teyssèdre

-----

**Mots clés :** agriculture, biodiversité, révolution agricole, agro-écosystème, écosystèmes, sélection participative, méthodes et outils, sociétés, stratégies et politiques, développement durable.

-----

Une véritable révolution agricole a eu lieu à l'échelle mondiale dans la deuxième moitié du siècle dernier. Par la recherche d'une augmentation des rendements à tout prix, elle a permis un véritable exploit : alimenter une population qui est passé entre 1950 et 2000 de 2,8 à 6,3 milliards d'habitants. La fertilisation azotée permise par la fixation industrielle de l'azote de l'air, la sélection de nouvelles variétés cultivées, l'extension des surfaces irriguées, l'emploi de nombreux pesticides et, dans les pays les plus industrialisés, la motorisation (utilisation de tracteurs, moissonneuses-batteuses...) ont été les facteurs de cette augmentation des rendements. [Tandis que dans les pays en développement, sous le nom de « révolution verte », la sélection végétale et l'apport important d'intrants ont produit une forte augmentation de la productivité de la terre (des rendements), dans les pays de l'OCDE la motorisation a permis, en plus, d'accroître la productivité du travail.]

Mais ces techniques, outre qu'elles consomment beaucoup d'énergie fossile, sont aussi la cause d'une détérioration des ressources naturelles, maintenant bien identifiée : pollution en azote et molécules diverses des eaux superficielles et profondes, érosion des

sols et de la biodiversité, émission de gaz à effet de serre, etc.



Monoculture de blé, Picardie  
(cliché A. Teyssèdre)

Que faire aujourd'hui, alors que neuf milliards d'habitants sont attendus en 2050 sur la planète, et, qu'en plus de sa fonction alimentaire, l'agriculture doit produire de l'énergie, fournir des services écologiques\* et patrimoniaux d'épuration des eaux, de fixation du carbone, de préservation des paysages ... ? Poursuivre dans la même logique productive et en corriger les méfaits au fur et à mesure qu'ils apparaissent ? Mettre l'agriculture « sous

contraintes environnementales » en lui demandant de limiter les pollutions, de préserver la biodiversité (mais laquelle ?) et, tant qu'on y est, en mettant en marché des services écologiques\* qu'on lui demanderait de produire ? Ou bien repenser les principes de culture et de sélection des plantes ? [NB: Nous ne parlerons pas ici de la sélection des animaux d'élevage.]

### Petit rappel historique

Pour y voir clair revenons sur les grandes transformations de l'agriculture, en Europe, depuis le Moyen-Age. A cette époque n'étaient cultivées qu'un petit nombre d'espèces (céréales d'hiver : blé, seigle, escourgeon ; cultures de printemps : avoine, orge et, plus rarement, des légumineuses telles que pois ou fèves) alternant tous les deux ou trois ans avec une jachère\* longue d'un an. L'année de jachère était, alors, la seule façon de se débarrasser des adventices\* (considérées comme « mauvaises herbes ») par un travail fréquent du sol qui, par ailleurs, favorisait la minéralisation de l'humus (nécessaire à la nutrition des plantes) et la perte d'azote par entraînement en profondeur par les pluies.

Puis une véritable révolution agricole, échelonnée du XVI<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècle, a consisté en une diversification des espèces cultivées et, au sein de chacune d'elles, une sélection de populations les plus adaptées aux usages locaux des produits agricoles et aux milieux de culture. Les jachères d'un an ont été remplacées par des prairies temporaires de plusieurs années, à base de trèfle blanc et de graminées fourragères, les jachères courtes (entre récolte d'automne et semis de printemps) par des navets en culture dite dérobée\*. Puis la liste des espèces végétales cultivées s'est allongée (choux, maïs, pomme de terre, betterave, lin, chanvre, ...). Les animaux d'élevage ont ainsi trouvé leur alimentation à la fois sur les terres cultivées et sur les prairies permanentes, cantonnées aux terres difficiles à labourer.

Ces systèmes de polyculture-élevage, par la grande diversité des espèces cultivées, constituent un grand progrès dans la valorisation des ressources naturelles relativement aux systèmes à jachères\* du Moyen-Age.

L'utilisation continue de l'énergie lumineuse par la photosynthèse produit plus de biomasse qui retourne partiellement au sol et accroît sa teneur en humus ; la maîtrise des adventices\* qui justifiait naguère la jachère\*, est assurée par la culture d'une succession d'espèces variées et de prairies temporaires ; la culture de légumineuses, annuelles ou pérennes, dont les racines hébergent des bactéries symbiotiques (du genre *Rhizobium*\*), capables de fixer l'azote de l'air, font profiter de cet enrichissement du sol l'ensemble des espèces cultivées ; enfin, la succession, ainsi que la répartition spatiale d'espèces différentes permet de réguler les populations de bio-agresseurs\*.



Champ de maïs (cliché A. Teyssèdre)

Or la révolution agricole du XX<sup>e</sup> siècle a largement détruit ces acquis [1]. En effet, l'augmentation très forte des rendements agricoles permise par l'utilisation d'engrais et de pesticides de synthèse, de semences adaptées à ces intrants\* et d'engins motorisés, etc., s'est accompagné d'une contrepartie : une véritable régression dans la capacité à utiliser les ressources naturelles par rapport au progrès réalisé dans la « révolution » agricole précédente, évoquée ci-dessus. N'est-il pas possible aujourd'hui d'envisager une troisième révolution agricole, qui utiliserait la biodiversité comme ressource et les connaissances scientifiques et paysannes comme outils de pilotage des processus écologiques à des fins productives, sans les forcer au point qu'ils dysfonctionnent ? [NB: Face à la complexité des problèmes il faudra bien arriver à marier ces deux types de connaissances qui se complètent.]

## Des systèmes de culture – vers une biodiversité cultivée

L'intensification des systèmes de culture par le recours important à des intrants\* extérieurs (engrais ou fertilisants) a favorisé leur simplification avec une conduite des espèces en culture mono-spécifique et une spécialisation poussée pouvant aller jusqu'à la monoculture. C'est ainsi que la fertilisation azotée minérale, rendant moins nécessaire la fixation naturelle de l'azote de l'air par le *Rhizobium*\* des légumineuses, notamment dans les prairies, a permis de dissocier la culture (de plantes) de l'élevage (d'animaux); mais de plus, indépendamment des légumineuses, cette fertilisation a réduit les symbioses bactériennes ou mycorhiziennes\* et donc les capacités naturelles de fixation de l'azote et d'utilisation des éléments minéraux par les plantes.

C'est ainsi que les pesticides, rendant moins nécessaire l'alternance d'espèces cultivées différentes sur les parcelles ont permis des quasi-monocultures ; mais de plus, à côté des effets recherchés sur les bio-agresseurs\*, ces produits ont eu des effets collatéraux néfastes : les insecticides sur les insectes auxiliaires\* des cultures (notamment les pollinisateurs), ou encore sur les vers de terre et les arthropodes du sol ; et les herbicides, indirectement, sur des populations utiles d'invertébrés du sol.

L'usage continu des pesticides, ainsi que la tendance à la monoculture ont entraîné sur les populations de parasites (insectes phytophages, champignons, bactéries...) des pressions de sélection qui ont produit l'apparition de résistances et de souches virulentes pour les plantes cultivées [2]. Ce sont là des dégâts qu'il est possible de corriger en réintroduisant de la biodiversité dans les systèmes de culture par un usage beaucoup plus modéré des engrais et pesticides.

Les multiples avantages des rotations longues de cultures sur la maîtrise des adventices\* et du parasitisme qui se développe dans les sols ont été établis depuis déjà longtemps. Mais s'y ajoute la connaissance de nouveaux mécanismes parmi lesquels les interactions biochimiques d'allélopathie\*. Malgré la difficulté d'établir ces relations en conditions agricoles

[3], certaines d'entre elles ont pu être mises en évidence : par exemple, on connaît aujourd'hui l'effet positif du colza, utilisé comme précédent culturel\*, sur la réduction du piétin-échaudage des céréales, maladie due au champignon *Gaeumannomyces graminis* [4].

Dans la diversification des espèces cultivées, une attention particulière doit être accordée aux légumineuses qui permettent d'économiser l'énergie de fabrication des engrais azotés, de réduire les pertes gazeuses et d'enrichir le sol en azote [5]. Enfin, cultivées entre des espèces de rapport, de sorte à assurer une couverture continue du sol, certaines espèces peuvent assurer, en culture dérobée\*, des services écologiques variés tels que la prévention de l'érosion, la recharge des nappes phréatiques par les pluies, le piégeage des nitrates, la séquestration du carbone et, par suite, l'augmentation de matière organique et de vie microbienne dans le sol, ... Voilà quelques exemples de l'intérêt de réintroduire en agriculture, dans chaque lieu de culture, de la diversité interspécifique ; mais, bien sûr, une diversité différente d'un lieu à l'autre pour tenir compte des aptitudes culturelles de chacun d'eux.

## De l'aménagement des infrastructures – vers l'entretien d'une biodiversité sauvage

Avant de cultiver un terrain, l'agriculteur l'aménage et y crée des infrastructures. Il défriche, réduit les pentes par des terrasses et des replats, laissant les plus fortes pentes aux bois, draine les zones humides par des drains, des rigoles ou des fossés, laissant les bas-fonds à la végétation spontanée, crée des systèmes d'irrigation... Il structure le paysage en parcelles dimensionnées en fonction du travail qu'il est possible de faire en un jour ou deux. Un paysage agricole est ainsi fait d'une ségrégation en mosaïque d'espaces cultivés et semi-naturels, lieux de préservation de la biodiversité sauvage.

Dans les pays industrialisés, l'intensification de l'agriculture s'est accompagnée, pour augmenter la productivité du travail, d'un accroissement rapide du nombre et de la puissance des tracteurs, ainsi que de la capacité

des machines. S'en est suivi un fort accroissement de la taille des parcelles, surtout dans les régions de grande culture, avec comme conséquences une plus grande

hétérogénéité des sols qui les composent, des risques accrus de perte en terre par érosion, quel que soit le système érosif, et une perte importante de la biodiversité sauvage par la disparition des habitats que constituent les haies, talus, fossés, bordures de champs et chemins enherbés [6]. Ajoutée aux effets directs des pesticides, cette perte d'habitats affecte les populations de pollinisateurs et autres auxiliaires\* indigènes. Pourtant l'intérêt de ces derniers est de mieux en mieux évalué dans la lutte biologique\* contre les ennemis des plantes cultivées. Une répartition équilibrée entre de nombreuses espèces en garantit la qualité.



Bocage bourguignon (cliché A. Teyssède)

La biodiversité sauvage, bien pilotée, peut donc elle aussi avoir une fonction productive. Son entretien fait donc partie des progrès nécessaires pour valoriser les processus écologiques [7,8].

L'aménagement de structures paysagères faites de haies composites, de bandes enherbées et fleuries, plus ou moins larges, ou de simples bordures de champ maintenues en végétation peuvent avoir plusieurs fonctions : obstacle au ruissellement ou au transfert de pollen indésirable, zone tampon\*, mais aussi habitats d'auxiliaires\* indigènes. Pour qu'elles aient une bonne efficacité, toutes ces infrastructures agro-écologiques\* doivent être disposées dans l'espace de façon à établir entre elles une bonne connectivité.

## De la sélection des plantes – vers une diversification variétale

La sélection de plantes à haut rendement, adaptées aux pratiques culturales à fort niveau d'intrants\*, a été une des clés de réussite de la dernière révolution agricole. Mais elle s'est concentrée sur un très petit nombre d'espèces et, dans chacune d'elles, la sélection a restreint la base génétique des variétés. Les populations d'espèces cultivées sont devenues de plus en plus homogènes (lignées pures, hybrides ou clones, selon le mode de reproduction) pour être de plus en plus performantes dans des itinéraires techniques de plus en plus standardisés.

Or nous avons vu l'intérêt de rechercher des systèmes de culture mieux adaptés aux divers milieux. Il devrait en être de même des variétés : ici économes en azote, là en eau, ailleurs résistantes à telle ou telle maladie... [9]. Il faut donc concevoir des organisations de la sélection des plantes beaucoup plus décentralisées que celles qui prédominent, mettant à contribution ceux qui cultivent les diverses espèces dans leurs différents lieux de culture [10].

De plus, dans chaque lieu, le milieu évolue. C'est vrai du climat mais aussi des populations pathogènes qui contournent les résistances plus vite encore qu'on ne peut mettre au point de nouvelles variétés [11] ou encore qui laissent libres des niches écologiques vite colonisées par de nouveaux pathogènes [12]. C'est là un des problèmes majeurs d'une sélection continue des plantes cultivées.

Plusieurs pistes de recherche existent qui jouent toutes sur la diversité intra-spécifique : par exemple, pour la résistance du colza au phoma (maladie due au champignon *Leptosphaeria maculans*), la diversification dans l'espace et le temps de plusieurs variétés selon leur type de résistance [13] ; ou encore le mélange de variétés au sein d'une même parcelle [14]. Ces mélanges de variétés aux capacités différentes de résistance aux maladies et d'adaptation aux contraintes physiques et chimiques du milieu procurent une meilleure stabilité des rendements qu'une culture mono-variétale [15].



Blé diversité (cliché I. Goldringer)

Enfin, une dernière voie est également explorée. Pour s'adapter à la fois à la diversité des milieux et à l'évolution de leurs caractéristiques (climatiques en particulier) ainsi qu'à la rapide différenciation des populations pathogènes, il paraît judicieux d'utiliser la capacité évolutive des populations d'espèces cultivées [16, 17, 18]. C'est ce que développe un courant de sélection des semences à la ferme, appelé sélection participative\*, dans des dispositifs éclatés de création de variétés (populations) visant à bien maîtriser l'évolution des caractères d'intérêt

agronomiques (poids et nombre de grains, date de maturité, résistance à la sécheresse...) dans le sens désiré, ainsi que les échanges de semences entre régions pour maintenir la diversité intra-variétale [19].

### Conclusion

La préservation de la biodiversité ne peut se réduire à une contrainte que l'agriculteur doit s'imposer. La biodiversité elle-même est une ressource qu'il doit savoir apprécier et valoriser. Voilà une voie de progrès qui valorise les fonctionnalités des agro-écosystèmes\*. En même temps qu'elle modifie le rapport de l'activité agricole aux ressources de la nature, elle ouvre une place nouvelle à l'agriculteur dans la société : de simple maillon d'une chaîne au sein du système agro-alimentaire, pris entre des entreprises de fournitures agricoles (engrais, pesticides, semences, matériel) et de transformation/distribution où son poids est bien faible, poussé par les banques ou la fiscalité à surinvestir, celui-ci doit devenir un acteur plus autonome. Les politiques et les réglementations, les différents acteurs des filières, des territoires et de la finance doivent lui reconnaître cette autonomie et l'aider à la prendre. C'est là une condition nécessaire pour que les agriculteurs puissent assumer leur responsabilité dans la valorisation productive du « capital écologique » que constitue la biodiversité.

### Petit glossaire des champs

**Adventice** : on appelle adventice toute plante poussant dans un champ cultivé, sans y avoir été intentionnellement mise par l'agriculteur cette année-là. Si elle est jugée concurrente des espèces cultivées elle est qualifiée de « mauvaise herbe ». Mais dans certaines agricultures les adventices sont récoltées pour servir de fourrage aux animaux.

**Agro-écosystème** : c'est un écosystème cultivé. Le terme, selon les cas, peut s'appliquer à un champ cultivé ou à un ensemble de champs recevant des pratiques culturales identiques.

**Allélopathie** : ce terme désigne l'effet d'une plante sur une autre par la production de composés chimiques libérés dans l'environnement.

**Auxiliaire des cultures** : organisme vivant qui contribue à la productivité agricole, soit directement (ex : insectes pollinisateurs), soit indirectement en réduisant les dégâts causés par les bio-agresseurs\* (ex : prédateurs d'insectes phytophages).

**Bio-agresseurs** : ce terme désigne l'ensemble des ennemis des espèces cultivées qu'ils soient prédateurs (phytophages), parasites, agents

pathogènes (comme peuvent l'être des champignons, bactéries, virus...) ou encore compétiteurs (comme par exemple les plantes adventices\*).

**Culture dérobée** : se dit de la culture d'une espèce qui est placée dans un court laps de temps entre les périodes de culture d'espèces plus importantes. Ces cultures dérobées peuvent avoir des fonctions alimentaires pour les hommes où les animaux, servir à protéger le sol contre le ruissellement et l'érosion ou encore à récupérer les nitrates lessivés par les pluies avant qu'ils n'atteignent les nappes phréatiques et les remonter dans les couches du sol qui seront ultérieurement explorées par les racines, voire enfin à présenter des effets allélopathiques\* favorables à la culture suivante.

**Infrastructure écologique** : On appelle infrastructure écologique tout élément du paysage – comme les haies vives, les talus, les bandes enherbées, les jachères florales... – qui a une fonction de réservoir de biodiversité utile aux espèces cultivées et de façon plus générale de régulation de flux bio-géochimique.

**Intrant** : se dit de tout produit introduit dans un agro-écosystème\* soit directement (engrais, pesticides, semences) soit indirectement (carburant).

**Jachère** : Dans le langage courant d'aujourd'hui, la jachère est l'état d'une terre qu'on laisse temporairement à l'abandon mais, du Moyen-Age jusqu'en plein XX<sup>e</sup> siècle, les cultivateurs ont appelé *jachère* l'ensemble des façons culturales qui détruisaient « les mauvaises herbes » et préparaient ainsi les semis des cultures suivantes.

**Lutte biologique** : c'est l'utilisation d'organismes vivants pour prévenir ou réduire les dégâts causés par les bio-agresseurs\*.

**Mycorhize** : champignon qui vit en symbiose avec les racines des espèces cultivées et contribue notamment à favoriser l'absorption du phosphore.

**Précédent cultural** : se dit, dans une succession de cultures, de celle qui en précède une autre.

**Rhizobium** : bactérie aérobie du sol qui forme une symbiose avec les légumineuses ; elle a la capacité de fixer l'azote de l'air qui profite à la légumineuse tandis que cette dernière fournit au rhizobium des substrats carbonés issus de la photosynthèse.

**Sélection participative** : c'est un dispositif de sélection végétale (ou animale) où chercheurs et agriculteurs (ou même d'autres acteurs intéressés ou en lien avec le système de production : transformateurs, consommateurs, etc...) collaborent pour créer de nouvelles variétés.

**Services écologiques** : nous avons utilisé ce terme pour qualifier différents « services » qui peuvent être rendus aux humains par les agro-écosystèmes : filtration de l'eau de pluie vers les nappes phréatiques, préservation de l'érosion des sols, séquestration du carbone et donc réduction de la teneur atmosphérique en gaz à effet de serre, augmentation du taux d'humus dans les sols, préservation de la biodiversité... (Voir le [Regard n°4](#))

**Zone tampon** : c'est une zone de protection autour d'une zone sensible comme par exemple un cours d'eau ou une zone de captage des eaux.

---

## Bibliographie

1. Papy F., 2008. Agriculture et industrialisation In : *Encyclopaedia Universalis*, Paris Universalis

2. Deguine J-P., Ferron P., Russel D., 2008. *Protection des cultures ; de l'agrochimie à l'agroécologie*. Editions Quae, 187 p.

3. Doré T., Sene M., Pellissier F., Gallet C., 2004. Approche agronomique de l'allélopathie, *Cah. Agric.* 13, 1-8.
4. Reau R., Doré T., Quinsac A., 2005. Comprendre et utiliser l'allélopathie pour améliorer la gestion des cultures dans les rotations. *In Demeter 2006*. Editions club Demeter
5. Brunel B., 2005. La microbiologie des sols, un champ prometteur pour l'agro-écologie. *In Demeter 2006*. Editions club Demeter
6. Thenail, C., Joannon, A et al. 2009. The contribution of crop-rotation organization in farms to crop-mosaic patterning at local landscape scales. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 131 : 207-219
7. Baudry J., Papy F., 2001. The role of landscape heterogeneity in the sustainability of cropping systems. *In : « Crop Science ; Progress and Prospect »* J. Nösberger, H.H. Geiger and P.C. Struik, editors, Cabi Publishing, Oxon, pp 243-259.
8. Dupraz C., 2005. Entre agronomie et écologie : vers la gestion d'écosystèmes cultivés. *In Demeter 2006*. Editions club Demeter
9. Meynard J-M., Jeuffroy M-H., 2006. Quel progrès génétique pour une agriculture durable ? *Les dossiers de l'environnement de l'Inra* n°30, 15-25.
10. Bonneuil C., Demeulenaere E., Thomas F., Joly P-B., Allaire G., Goldringer I., 2006. Innover autrement ? *Les dossiers de l'environnement de l'Inra* n°30, 29-51.
11. Gallais A., 2005. Progrès réalisés en amélioration des plantes et agriculture durable. *C.R. Académie d'agriculture de France séance du 1er juin 2005*.
12. Foucart S., 2010. En chine un coton transgénique provoque une infestation imprévue de punaises. *Le Monde*, du 14-05-2010.
13. Aubertot J-N., Brun H et al. 2006. Un exemple de recherche pluridisciplinaire au service d'une innovation : le cas de la gestion durable des résistances du colza au Phoma. *In J. Caneill ed. Agronomes et innovations. 3ième édition des entretiens du Pradel*. Paris l'Harmattan, 356 p.
14. Vallavieille-Pope (de) C., 2006. Management of disease resistance diversity of cultivars of a species in single fields: controlling epidemics. *C. R. Académie des sciences, Biologies* 327. 611-620.
15. Mille B., Belhaj Fraj M. et al., 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.
16. Paillard S., Goldringer I et al., 2000 a. 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.
17. Paillard S., Goldringer I et al., 2000 b. Evolution of resistance against powdery mildew in winter wheat populations conducted under dynamic management. II- Adult resistance. *Theor. Appl. Genet.* 101: 457-462.
18. Goldringer I., Prouin C. et al., 2006. Rapid differentiation of experimental populations of wheat for heading-time in response to local climatic conditions. *Annals of Botany* 98: 805-817
19. Dawson J.C., Rivière P. et al., 2010. On-farm conservation and farmer selection as a strategy for varietal development in organic agricultural systems. *In Proceedings of EUCARPIA 2nd Conference of the « Organic and Low-Input Agriculture » Section "Breeding for resilience: a strategy for organic and low-input farming systems?"* Paris, France, dec. 2010.

-----

**Pour en savoir plus (en français) :**

Inra, 2009. *Agriculture et biodiversité ; valoriser les synergies*. Expertise scientifique collective Inra 2008. Editions Quae, 177 p

Griffon M., 2010. *Pour des agricultures écologiquement intensives*. Editions de l'Aube. 144 p.

Les dossiers de l'environnement de l'Inra n°30: *Quelles variétés et semences pour des agricultures paysannes durables ?*

Réseau semences paysannes, 2009. *Cultivons la biodiversité : les semences paysannes en réseau*.

Ministère de l'aménagement, du territoire et de l'environnement, 2001. *Dynamique de la biodiversité et gestion de l'espace*.

-----

Regard [R21](#), édité et mis en ligne par Anne Teyssèdre pour la Société Française d'Ecologie ([SFE](#))

<https://www.sfecologie.org/regard/r21-biodiversite-des-champs/>

Regards et débats sur la biodiversité :  
<https://www.sfecologie.org/regards/>

-----