

# Entre agronomie et écologie : vers la gestion d'écosystèmes cultivés

Christian Dupraz, mars 2005

## 1 Introduction

L'agriculture intensive des pays développés tempérés est à un tournant de son histoire. Après un siècle de progrès remarquables et continus en productivité, les enjeux se sont modifiés : la durabilité des systèmes de production est maintenant une préoccupation majeure, d'autant que les énergies fossiles deviennent inéluctablement plus rares et chères. Dans ce contexte, deux options sont explorées pour améliorer la durabilité des systèmes de culture, que nous pourrions qualifier d'un côté d'ingénierie génétique, et de l'autre d'ingénierie écologique.

L'ingénierie génétique mise sur de nouvelles percées dans l'amélioration des cultures, notamment par transgénèse (Ortiz, 1998)<sup>1</sup>, qui pourrait permettre de réduire la dépendance énergétique de l'agriculture (Huang et al, 2002<sup>2</sup>). Le mécanisme essentiel en serait une diminution des besoins en produits de synthèse, nécessaires notamment à la protection des cultures contre les mauvaises herbes et les maladies.

L'ingénierie écologique propose de modifier les systèmes de culture pour utiliser des mécanismes naturels peu coûteux en énergie, en s'inspirant des principes de l'écologie (Altieri et al, 2005<sup>3</sup>). Les applications les plus visibles concernent également la protection des cultures (Gurr et al., 2004<sup>4</sup>), que ce soit dans les stratégies de lutte biologique, de lutte intégrée, ou plus récemment de gestion des habitats pour favoriser les auxiliaires. Mais d'autres résultats récents montrent que la productivité même des systèmes de culture pourrait être améliorée par certaines pratiques inspirées de l'écologie des systèmes naturels. Ces pratiques remettent en cause le dogme de la culture pure, et proposent de cultiver des mélanges d'espèces, ce qui peut prendre de nombreuses formes (cultures associées, agroforesterie, systèmes de culture avec couverture végétale permanente du sol, gestion de mosaïques d'habitats pour maintenir une biodiversité maîtrisée au sein même de l'agrosystème cultivé). Certains auteurs préconisent d'utiliser les techniques inspirées par l'ingénierie écologique surtout pour les agricultures tropicales de subsistance qui ne peuvent

---

<sup>1</sup> Ortiz, R. 1998. Critical role of plant biotechnology for the genetic improvement of food crops: perspectives for the next millennium. *J. Biotechnol.* **1**, 1–8.

<sup>2</sup> Huang J., Pray C., Rozelle S. 2002. Enhancing the crops to feed the poor. *Nature*, Vol 418 678-684.

<sup>3</sup> Altieri, MA, Gurr GM and Wratten SD, 2005. Genetic engineering and ecological engineering: a clash of paradigms or scope for synergy?, in *Ecological Engineering for Pest Management: Advances in Habitat Manipulation for Arthropods*, CSIRO, Melbourne (in press).

<sup>4</sup> Gurr GM., Wratten SD., Altieri MA., 2004. Ecological engineering for pest management. CSIRO Publishing

faire appel aux produits de synthèse (Altieri, 2002<sup>5</sup>), mais ce point de vue restrictif est contesté : les agricultures intensives des pays développés pourraient également en bénéficier (Tilman et al, 2002)<sup>6</sup>.

Odum (1962<sup>7</sup>) a été un des premiers à proposer la notion d'ingénierie écologique, pour désigner une stratégie qu'il définissait comme « une manipulation douce de l'environnement consistant à utiliser de faibles quantités d'énergie pour piloter des systèmes productifs qui utilisent essentiellement des sources d'énergie naturelles». En ce sens elle s'oppose à la tendance lourde à l'artificialisation des milieux cultivés qui a caractérisé l'agriculture du XX<sup>ième</sup> siècle.

Entre une agriculture qui a misé sur l'artificialisation des milieux cultivés, et une agriculture qui chercherait à jouer avec les équilibres naturels pour produire, existe-t-il un juste milieu? C'est ce que nous allons explorer, en décrivant une approche qui tente une synthèse entre agronomie et écologie. Et qui, pour bien marquer le changement de paradigme, s'intéresse à un nouvel objet : l'écosystème cultivé.

## **2 Un changement de paradigme pour l'agriculture : cultiver la diversité**

### **2.1 La culture pure, modèle dominant au Nord**

Depuis un siècle environ, l'intensification de la production agricole s'est traduite par une forte diminution de la diversité végétale dans les parcelles cultivées des pays développés. Les mélanges d'espèces sont devenus rares, les arbres ont été arrachés, les génotypes se sont uniformisés, les mauvaises herbes ont été de mieux en mieux contrôlées, les bordures des champs se sont rétrécies, souvent jusqu'à disparaître. Le succès de cette stratégie de spécialisation des parcelles est incontestable en termes de productivité. La contre-partie est une artificialisation toujours croissante des parcelles cultivées, qui nécessitent de plus en plus d'intrants pour assurer des conditions de croissance optimales à des peuplements mono spécifiques, souvent même monoclonaux pour les espèces pérennes. Les conséquences environnementales sont de plus en plus inquiétantes.

Cette évolution de l'agriculture des pays développés tempérés touche aujourd'hui les zones intertropicales. Alors que les cultures associées (mélanges d'espèces cultivées) et en particulier les parcelles agroforestières (mélanges d'arbres et de cultures) étaient dominantes dans l'ensemble des zones tropicales, une tendance à la spécialisation des parcelles peut maintenant y être observée. Pourtant, aujourd'hui encore, près de la moitié de la population mondiale dépend en partie de systèmes de cultures associées pour sa subsistance.

Les avocats de la poursuite de cette spécialisation des parcelles agricoles sont aujourd'hui peu nombreux (voir par exemple Cook et Weller, 2004<sup>8</sup>). Depuis une dizaine d'années, de

---

<sup>5</sup> Altieri, M. A. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93 (2002) 1–24

<sup>6</sup> Tilman D., Cassman K G., Matson P. A., Naylor R. & Polasky S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, Vol 418, 671-677.

<sup>7</sup> Odum HT 1962, 'Man in the ecosystem',. In *Proceedings Lockwood Conference on the Suburban Forest and Ecology*, Bulletin of the Connecticut Agricultural Station 652, Storrs CT pp. 57-75.

<sup>8</sup> Cook et Weller, 2004. In defense of monoculture. In "New directions for a diverse planet". Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia

nombreuses initiatives dans le monde proposent une nouvelle approche pour l'agriculture, inspirée de l'écologie des systèmes naturels.

## 2.2 Un changement radical de perspective

La prise de conscience qu'un champ cultivé peut être considéré comme un écosystème est récente. L'agronomie systémique a permis ce premier virage au cours des années 80, sans remettre en cause le concept dominant de la culture pure. Mais l'étape suivante est plus radicale, et plus récente. Elle consiste à s'inspirer de l'observation des écosystèmes naturels pour élaborer des systèmes cultivés (Jackson et Piper, 1989<sup>9</sup>, Soule et Piper, 1992<sup>10</sup>). C'est le courant de l'agriculture mimétique (Lefroy *et al.*, 1999<sup>11</sup>). Un des postulats de cette approche est que les écosystèmes naturels sont stables et durables, et qu'ils doivent ces propriétés à leur structure. En s'inspirant de ces écosystèmes pour concevoir des systèmes de culture innovants, on espère parvenir à une agriculture qui concilie productivité et respect de l'environnement. L'exemple des systèmes céréaliers à base de graminées pérennes, étudié par le Land Institute au Kansas (Jackson, 2002<sup>12</sup>) est révélateur de la hardiesse de cette approche. En s'inspirant des écosystèmes prairiaux nord-américains, les chercheurs proposent de remplacer les graminées céréalières annuelles par des espèces pérennes. L'enjeu est considérable, car la période de sol nu caractéristique des systèmes céréaliers est une de leurs grandes faiblesses écologiques (érosion, tassement, minéralisation de la matière organique...)

## 3 Des concepts à l'épreuve de la réalité

De tels concepts soulèvent des questions difficiles : comment concilier la différence fondamentale qu'il y a entre un écosystème naturel, qui exporte peu ou pas de matière et d'énergie, et un agrosystème cultivé dont la vocation est justement d'exporter ? Quelles sont les caractéristiques pertinentes des écosystèmes naturels, et comment les adapter aux systèmes cultivés ? Est-il pertinent d'envisager des agrosystèmes cultivés plus complexes, alors que la tendance générale va toujours vers une simplification des pratiques ?

La principale caractéristique des écosystèmes naturels est leur pluri-spécificité. La nature est faite de mélanges d'espèces, et la compétition interspécifique domine l'écologie de la planète. On est là à l'opposé des pratiques agricoles de cultures pures, où la compétition intra-spécifique domine. C'est pourquoi la plupart des travaux actuels sur une agriculture inspirée des systèmes naturels essaient d'évaluer la faisabilité et l'intérêt des mélanges d'espèces dans les parcelles cultivées, qu'il s'agisse de mélange d'espèces herbacées (cultures associées) ou d'espèces herbacées et arborées (agroforesterie).

---

<sup>9</sup> Jackson, W. et J. Piper. 1989. The necessary marriage between ecology and agriculture. *Ecology* 70:1591-1593.

<sup>10</sup> Soule, J. D., and J. K. Piper. 1992. *Farming in Nature's Image: an Ecological Approach to Agriculture*. Island Press, Washington, DC.

<sup>11</sup> Lefroy E.C., Hobbs R.J., O'Connor M.H. and J.S. Pate (editors), 1999 Agriculture as a mimic of natural Ecosystems. *Agroforestry Systems* Volume 45, 446p

<sup>12</sup> Jackson W., 2002 Natural systems agriculture: a truly radical alternative *Agriculture Ecosystems and Environment* 88 111–117

Les premiers éléments de réponse commencent à nous parvenir. Des synthèses récentes (Vandermeer *et al*, 1998<sup>13</sup>) montrent que les systèmes plurispécifiques présentent des caractéristiques intéressantes, mais qu'il est difficile de démontrer leur efficacité sans un effort de recherche conséquent. Cependant, la prise de conscience que l'agriculture ne pourra pas échapper à une profonde remise en cause du modèle d'artificialisation du milieu pour des raisons énergétiques (la hausse tendancielle du prix des énergies fossiles) et écologiques (la protection de la biodiversité et des ressources renouvelables) rend plus pertinentes encore ces approches.

### **3.1 Concevoir des systèmes de culture innovants économes en intrants**

L'agriculture du 21<sup>ème</sup> siècle doit trouver un compromis entre productivité et durabilité, dans un contexte où les énergies fossiles sont toujours plus chères. Dans les pays développés, la réduction des intrants (eau, engrais, produits phytosanitaires, carburants) est un objectif affiché également pour des raisons environnementales. Dans les pays du sud, le coût de ces intrants est le grand frein à leur utilisation. Dans les deux cas, une convergence se dessine : les agrosystèmes de demain devront être plus économes en intrants. Les mélanges d'espèces peuvent-ils y contribuer ?

### **3.2 Des systèmes cultivés qui imitent les écosystèmes naturels**

Quelles sont les principales caractéristiques structurelles des écosystèmes naturels ? Nous en retiendrons cinq.

La diversité spécifique est la plus importante : la nature a horreur de l'homogénéité, et on ne trouve quasiment aucun écosystème mono spécifique sur le globe, sauf dans quelques conditions désertiques extrêmes. La première conséquence de cette diversité d'espèces est une hétérogénéité spatiale, qui se traduit par une grande richesse en interfaces entre espèces. Alors que l'agriculture (des cultures pures) est monodimensionnelle (un champ cultivé est réductible à un profil vertical, ce que les modèles de culture reconnaissent implicitement), la nature est fondamentalement bi-dimensionnelle (mélanges d'espèces appartenant à une seule strate verticale) ou tri-dimensionnelle (mélanges de strates). L'agriculture conventionnelle est dominée par les compétitions intra-spécifiques, la nature par les compétitions inter-spécifiques. Une autre caractéristique essentielle est la pérennité du couvert végétal dans les systèmes naturels, obtenue par le mélange d'espèces à phénologies décalées, et par l'abondance des espèces pérennes. Cette propriété explique une grande partie de leur efficacité environnementale. La forte pluri-spécificité (jusqu'à plus de 50 espèces par m<sup>2</sup> dans les prairies alpines, ou plus de 100 espèces d'arbres par hectare dans certaines forêts tropicales) se traduit par l'existence de redondances fonctionnelles : on trouve à la fois des espèces complémentaires en termes d'utilisation des ressources, mais aussi des espèces qui occupent des niches écologiques proches. Enfin, 95% des écosystèmes de la planète comprennent une composante arborée qui a largement disparu de la plupart des systèmes cultivés intensifiés. Le défrichement n'est-il pas l'acte fondateur de l'agriculture ?

### **3.3 Est-il possible de concevoir des agrosystèmes pluri-spécifiques à la fois productifs et durables ?**

C'est tout l'enjeu du débat actuel. Les travaux des écologues montrent clairement que c'est la diversité des espèces qui explique largement la stabilité et la durabilité des écosystèmes

---

<sup>13</sup> Vandermeer J., van Noordwijk M., Anderson J., Ong C., Perfecto I., 1998. Global change and multi-species agroecosystems: Concepts and issues Agriculture, Ecosystems & Environment Volume 67, 1-22

naturels. Ce qui se traduit pour l'agriculture par la règle anglo-saxonne des 5 M : *Making Mimics Means Managing Mixtures* (imiter la nature impose de mélanger les espèces cultivées). L'objectif va être de jouer sur les relations entre espèces pour limiter à la fois les stress abiotiques (besoins en eau, lumière, éléments nutritifs) et biotiques (compétition, parasitisme, maladies) qui régulent la productivité des systèmes cultivés.

Notons immédiatement que l'échelle de biodiversité n'est pas la même, et ne sera jamais la même en écologie et en agronomie : un écosystème naturel terrestre comprend rarement moins de 10 à 20 espèces végétales, alors que les systèmes de cultures associées ou agroforestières comprennent souvent deux espèces associées, rarement plus de 5. Cela suggère que la généralisation des concepts de l'écologie à l'agronomie n'est pas si évidente.

Un corollaire du mélange d'espèces à l'échelle de la parcelle cultivée est l'apparition d'une hétérogénéité spatiale intra-parcellaire, que l'agriculteur n'est pas habitué à gérer. Selon la dimension des plantes associées, ces interfaces pourront être contraignantes pour la mécanisation ou non, et pourront exiger des pratiques relevant de l'agriculture de précision.

### 3.4 Les 4 formes d'incorporation de la diversité spécifique dans les systèmes de culture à l'échelle de la parcelle

On peut définir un gradient d'interaction, en fonction de l'importance des compétitions interspécifiques :

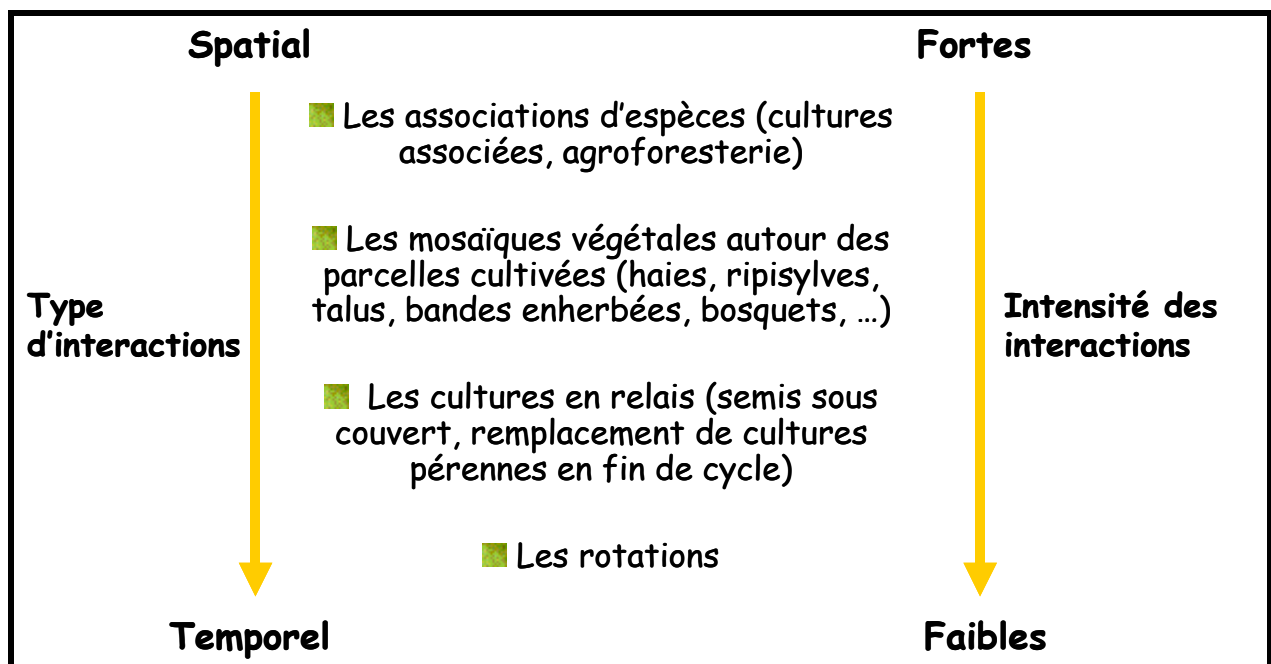


Figure 1 : Les diverses formes d'incorporation de la diversité végétale au sein des systèmes cultivés

#### 3.4.1 Les associations d'espèces

Dans les associations d'espèces, il y a coexistence des plantes associées : les interactions sont maximales. Les exemples traditionnels sont nombreux : cultures associées, mélanges fourragers, agroforesterie, cultures sous arbres fruitiers... De nouvelles pistes sont explorées par la recherche et connaissent un développement spectaculaire dans certains pays (enherbement de vergers, agroforesterie associant des arbres forestiers et des cultures intercalaires).

### 3.4.2 *Les mosaïques de milieux peu anthropisés autour des parcelles cultivées*

Pour la biodiversité et les équilibres naturels, la bordure des champs est aussi importante que le champ lui-même. Haies, bosquets, ripisylves, talus, bandes enherbées, marais, cours d'eau, jouent un rôle très important en offrant un refuge à de nombreuses espèces végétales et animales qui ne peuvent subsister dans les parcelles cultivées. Mais les interactions directes avec les plantes cultivées dans les parcelles sont également significatives : effets micro-climatiques (brise-vent, ombre, régime de gelées), réservoirs de parasites (limaces, petits rongeurs), refuge pour des auxiliaires (carabes, oiseaux insectivores, chauve-souris), ou encore compétition directe (les racines des arbres peuvent pénétrer fort loin dans les champs cultivés).

### 3.4.3 *Les cultures en relais*

Les cultures en relais sont implantées sous le couvert de la culture précédente. Les espèces sont donc en présence l'une de l'autre au cours d'une partie réduite de leur cycle. Les interactions sont moins puissantes que dans le cas des associations d'espèces. Les travaux actuels comprennent aussi bien les semis sous couverture végétale (SCV) pour les cultures annuelles (Quillet, ce numéro), que les cultures relais implantées dans des parcelles de cultures pérennes en fin de cycle.

### 3.4.4 *Les rotations*

C'est la forme classique d'utilisation de la diversité végétale des espèces cultivées à l'échelle de la parcelle. Il n'y a pas d'interaction directe entre espèces, mais les effets précédents peuvent induire des compétitions indirectes (par exemple si une espèce épuise une ressource qui n'est pas renouvelée) ou des facilitations (par exemple à travers des reliquats d'azote ou une élimination des mauvaises herbes).

On peut aussi classer les associations en fonction de la vocation des plantes cultivées : certaines associations comprennent uniquement des espèces à vocation de production, alors que d'autres associations comprennent des espèces à vocation de production et des espèces à vocation environnementale (exemples : enherbement des cultures pérennes telles que bananeraies, vergers ou vignobles ; caféiers et arbres d'ombrages).

## **4 Les questions scientifiques**

On peut les regrouper en deux grandes interrogations sur la productivité et la stabilité des systèmes associés.

### **4.1 Agrosystèmes pluri-spécifiques et productivité**

Un mélange d'espèces peut-il être productif ? Cette question simple cache un débat passionnant. Pour des raisons pratiques, la plupart des résultats expérimentaux ont été obtenus sur des groupes écologiques de diversité fonctionnelle limitée, composés d'espèces de même dimension et de types biologiques proches, comme dans les mélanges prairiaux. Cela limite la valeur des généralisations, notamment pour les mélanges plus complexes qui associent des plantes annuelles et des plantes pérennes, ou encore les mélanges de plantes ayant des dimensions très différentes comme les arbres et les plantes herbacées. Une étape importante a été la mise au point d'indicateurs de la productivité des mélanges d'espèces (Land Equivalent Ratio) par des agronomes qui étudiaient les systèmes de cultures

associées tropicales (Mead et Willey, 1980<sup>14</sup>). Ils ont comparé la productivité des systèmes associés (mélanges) et assolés (cultures pures) à surface totale égale. Un LER de 1 signifie que l'association est neutre du point de vue de la productivité. Les premières expérimentations agronomiques sur les systèmes de cultures associées annuelles ont mis en évidence des LER compris entre 1 et 1.2, ce qui montrait que la productivité du mélange était au moins égale à celle des cultures pures, et parfois nettement supérieure. De tels résultats ne sont pas interprétables par de simples mécanismes de compétition. Un progrès décisif a été la prise en compte de la variabilité des conditions environnementales pour interpréter et prédire les résultats des associations (Vandermeer, 1989<sup>15</sup>). On montre que l'efficacité d'une association dépend de la convexité de la fonction de production conjointe. Cette fonction exprime la productivité d'une espèce associée dans des conditions environnementales conduisant à une prépondérance des relations de compétition, en fonction du rendement de la même espèce associée dans des conditions environnementales conduisant à des relations de facilitation. Cette approche probabiliste permet de bien rendre compte du fait qu'une association peut être efficace certaines années, et pas d'autres, et que c'est la probabilité d'être dans des conditions où elle est efficace qui va déterminer son intérêt.

Plus récemment, des preuves expérimentales irréfutables d'une augmentation de la productivité avec la diversité spécifique ont été enfin apportées (Tilman *et al*, 1996<sup>16</sup>). On peut s'étonner qu'une question aussi simple ait été si longtemps controversée et indécise, mais les difficultés expérimentales sont considérables. Précisons que ces résultats sont obtenus sur des mélanges herbacés encore fort éloignés de ceux envisageables en agronomie. Très récemment enfin, les écologues ont montré que peu d'espèces bien choisies suffisent pour approcher l'optimum de productivité d'un écosystème naturel (Loreau, 1999<sup>17</sup>). Ce résultat est très important pour l'agronome : il permet d'espérer constituer des mélanges d'espèces d'intérêt agronomique qui conservent les propriétés intéressantes des systèmes naturels.

La compétition entre espèces est-elle un atout ou une faiblesse des systèmes pluri-spécifiques ? A priori, on serait tenté de rechercher des systèmes qui limitent la compétition entre espèces, par l'association d'espèces aux niches écologiques les plus éloignées possible. Ce raisonnement est globalement valable pour des espèces annuelles. Mais lorsque des espèces pérennes sont présentes dans l'association, une forte compétition peut être favorable et induire des relations de facilitation ultérieures. En effet, elle peut forcer les espèces pérennes à s'adapter à la compétition par une modification de leur architecture, ce qui peut leur permettre d'exploiter des ressources qui autrement n'auraient pas été accessibles (Cannell *et al*, 1996)<sup>18</sup>. C'est par exemple l'approfondissement du système racinaire des arbres par suite de la compétition des cultures annuelles d'hiver, récemment

---

<sup>14</sup> Mead, R. and Willey, R. W. 1980. The concept of a 'land equivalent ratio' and advantages in yields from intercropping. - *Exp. Agric.* 16: 217-228.

<sup>15</sup> Vandermeer, J. 1989. *The ecology of intercropping*. – Cambridge Univ. Press, Cambridge.

<sup>16</sup> Tilman, D., Wedin, D. Knops, J. 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. - *Nature* 379: 718-720.

<sup>17</sup> Loreau, M. 1998. Biodiversity and ecosystem functioning: a mechanistic model. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 95, 5632-36.

<sup>18</sup> Cannell, M. G. R., van Noordwijk, M. & Ong, C.K. 1996. The central agroforestry hypothesis: the trees must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. *Agroforestry Systems* 34, 27-31.

mis en évidence en agroforesterie tempérée (Dupraz *et al*, 2005<sup>19</sup>) et méditerranéenne (Moreno *et al*, 2005)<sup>20</sup>.

La compétition peut également contribuer à améliorer la qualité des produits, ce qui est un aspect important des cultures associées. Ainsi les enherbements de vignobles ont-ils souvent pour objectif de maîtriser la vigueur des vignes afin d'améliorer la qualité du raisin. De même, les céréales agroforestières mûries en demi-ombre présentent-elles des teneurs en protéines plus élevées que les céréales de plein champ (Dupraz, résultats non publiés).

#### **4.2 Agrosystèmes pluri-spécifiques et stabilité**

La durabilité des systèmes de production est un enjeu plus complexe. Un des aspects de la durabilité est leur capacité à maintenir des niveaux de production réguliers.

Depuis la célèbre thèse de May (1972)<sup>21</sup>, on sait que les mélanges simples d'espèces sont très instables. Cela confortait le sens commun qui imagine volontiers que la complexité confère la stabilité. May a ainsi permis à l'écologie fonctionnelle de progresser dans un domaine difficile. Certains esprits avisés ont d'ailleurs fait remarquer que tout jardinier amateur sait combien il est difficile de maintenir des peuplements monospécifiques... Or des travaux plus récents ont montré que des mélanges non binaires peuvent être spontanément très stables. Mais la limite des travaux d'écologie dans ce domaine est leur parti pris de suivre des évolutions spontanées de mélanges d'espèces, sans intervention de pilotage par l'homme. En enrichissant un mélange d'espèces tout en évitant d'introduire trop de redondances fonctionnelles Yachi et Loreau (1999)<sup>22</sup> ont bien montré comment on pouvait conférer aux mélanges d'espèces des caractéristiques de productivité ET de stabilité.

Les traits fonctionnels essentiels des espèces à associer pour obtenir des systèmes stables sont les suivants : forts décalages phénologiques (les besoins sont décalés dans le temps, par exemple entre des céréales d'hiver précoces et des arbres à feuilles caduques tardifs); plasticité architecturale (capacité à s'adapter à la compétition par la déformation de l'architecture de la plante, aussi bien de sa partie aérienne que de sa partie souterraine); diversification des habitats permettant une régulation naturelle des populations de ravageurs. Mais pour l'agronome, les travaux d'écologie restent insuffisants. En intervenant à bon escient pour piloter un système cultivé, l'agriculteur peut rendre stables des mélanges d'espèces qui spontanément ne le seraient pas. Ainsi, le contrôle mécanique ou chimique d'un enherbement de verger peut limiter sa consommation estivale en eau, tout en maintenant son impact positif sur la pénétration des pluies hivernales dans le sol. L'intervention est simple, ciblée, précise dans le temps, et confère au système sa stabilité. Sans intervention, les arbres du vergers souffriraient d'une concurrence trop forte, et à terme dépériraient. Si les concepts de l'écologie sont utiles, ils doivent donc être déclinés

---

<sup>19</sup> Dupraz C., Dufour L., Lecomte I., Mulia R., Mayus M. 2005. Silvoarable Agroforestry For Europe, INRA-SYSTEM final report.85 p. Disponible par internet sur le site du projet SAFE : <http://www.montpellier.inra.fr/safe/>

<sup>20</sup> Moreno G., Obrador J.J., Cubera E., Dupraz C., 2005. Root distribution in dehesas of Central-Western Spain. Plant and Soil, accepted for publication

<sup>21</sup> May R.M. 1972. *Nature* 238, 412–414

<sup>22</sup> Yachi, S. & Loreau, M., 1999. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: the insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.*, 96: 1463-1468.



différemment en agronomie : l'intervention de l'exploitant peut radicalement corriger des évolutions spontanées défavorables.

La lutte biologique par la gestion des habitats (Gurr *et al*, 2005)<sup>23</sup> est une des déclinaisons novatrices de l'agronomie des systèmes pluri-spécifiques. Elle propose de gérer des mélanges d'espèces ou des mosaïques d'habitats pour stimuler les populations d'auxiliaires. Des travaux préliminaires en ce sens commencent à être effectués en France. Citons le contrôle des acariens phytophages de la vigne dans des systèmes agroforestiers viticoles (Tixier *et al*, 2004)<sup>24</sup>, ou des pucerons des céréales par des bandes fleuries qui attirent à nouveau les syrphes adultes dont les larves sont de redoutables consommatrices de pucerons (Sarhou *et al*, 2004)<sup>25</sup>. Dans les deux cas, ce sont les arbres associés qui offrent un habitat aux auxiliaires qui ont pratiquement disparu des parcelles agricoles classiques. Ces deux exemples illustrent le fait qu'un mélange simple d'espèces (ici une culture et un arbre) induit une biodiversité bien plus large. Ainsi une association d'un arbre et de céréales va permettre à tout un cortège de vertébrés (oiseaux, chauve-souris, batraciens, reptiles) et d'invertébrés (insectes, acariens, arachnides, lombrics, etc..) de retrouver une place dans l'agrosystème cultivé, grâce à l'abri apporté par les arbres et surtout par la végétation et le sol non cultivé à l'aplomb des arbres. L'impact sur la biodiversité est bien plus fort que ce que le faible nombre d'espèces cultivées ensemble pourrait suggérer.

## 5 Applications européennes

Dans certains pays, l'évolution vers une agriculture plus douce, inspirée des écosystèmes naturels, est en route. En Chine, plus de 4 millions d'hectares agroforestiers ont été mis en place depuis 1980 dans les grandes plaines céréalières du nord. Aux Etats-Unis, un centre national agroforestier a été créé en 1996, pour coordonner les efforts de recherche et de démonstration. En 2005, le premier congrès mondial d'agroforesterie s'est tenu à Orlando aux Etats-Unis, rassemblant 700 délégués de 110 pays. Mais quelles sont en pratique les perspectives pour l'Europe ?

### 5.1 Cinq pistes prometteuses pour l'Europe

#### 5.1.1 Les systèmes agroforestiers

Ils consistent à réintroduire des arbres à très large espacement dans les parcelles agricoles. Les arbres peuvent avoir des fonctions variées : production de bois de qualité, création d'habitats favorables à des auxiliaires de protection des cultures, enrichissement du paysage, séquestration de carbone, limitation de la pollution des nappes souterraines par les

---

<sup>23</sup> Gurr GM., Wratten SD., Altieri MA., 2004. Ecological engineering for pest management. CSIRO Publishing

<sup>24</sup> Tixier MS, Kreiter S, Cheval B, Guichou S, Auger P, Bonafos R, 2005. Immigration of phytoseiid mites from surrounding uncultivated area into a newly planted vineyard. *Experimental and Applied Acarology*, Accepted.

<sup>25</sup> Sarhou J. P., Ouin A., Arrignon F., Barreau G. et Bouyjou, B., 2004. Landscape parameters explaining distribution and abundance of *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776) (Diptera, Syrphidae). *European Journal of Entomology*. (accepté).

nitrate... Les densités recommandées (entre 30 et 100 arbres par hectare, Dupraz *et al*, 2005)<sup>26</sup> conduisent à des paysages de parcs arborés originaux.



**Figure 2 : Le mélange d'arbres et de cultures dans les systèmes agroforestiers peut prendre différents aspects : arbres alignés à densité moyenne (à gauche, peupliers et céréales), arbres espacés à faible densité (à droite, noyers et céréales)**

Une des caractéristiques essentielles des systèmes agroforestiers tient à la forte différenciation des niches écologiques de l'arbre et de la culture. Ceci explique les productivités exceptionnelles mesurées récemment sur des parcelles agroforestières (LER=1.3 sur des parcelles peupliers-blé, Dupraz *et al*, 2005)<sup>27</sup>. Pour la production de bois de qualité, les parcelles agroforestières présentent un autre avantage : le faible taux d'éclaircie (on récolte au moins un arbre pour deux arbres plantés) conduit à des LER exceptionnels, supérieurs à 1.5 pour des arbres tels que le noyer et le merisier. Une telle augmentation de productivité est inédite.

#### *5.1.2 Les systèmes de cultures pérennes mono-spécifiques pouvant bénéficier de l'introduction de plantes à fonctions environnementales*

C'est le cas de toutes les cultures pérennes (vergers, vignes, petits fruits) qui posent des problèmes environnementaux sérieux, notamment par suite des pratiques de désherbage chimique continu depuis des décennies (non-culture). De nombreux travaux montrent que les enherbements naturels ou cultivés peuvent fortement contribuer à rétablir une activité biologique dans les sols, à limiter les risques d'érosion, et à améliorer la qualité du raisin dans certaines conditions (ITV, 2002)<sup>28</sup>.

---

<sup>26</sup> Dupraz C., Liagre F., Borrell T., 2005. Economics of silvoarable systems using the Land Equivalent Ratio concept. In : SAFE (Silvoarable Agroforestry For Europe) final Report, disponible par internet sur le site du projet SAFE : <http://www.montpellier.inra.fr/safe/>

<sup>27</sup> Dupraz C., Dufour L., Lecomte I., Mulia R., Mayus M. 2005. Silvoarable Agroforestry For Europe, INRA-SYSTEM final report.85 p. Disponible par internet sur le site du projet SAFE : <http://www.montpellier.inra.fr/safe/>

<sup>28</sup> ITV France, 2002, *L'enherbement permanent de la vigne*, Les Cahiers Itinéraires n°4, 16 p.



**Figure 3 : Les couvertures herbacées dans les cultures pérennes (vignes en coteau à gauche, noyers à droite) présentent à la fois des avantages agronomiques et environnementaux.**

### 5.1.3 Les systèmes de semis sous couvert pour les cultures herbacées

Les périodes de sol nu sont une des grandes faiblesses environnementales des systèmes de cultures annuelles. Elles peuvent induire des érosions (par ruissellement en période humide ou par le vent en période sèche), des lessivages de nitrates, une minéralisation accélérée de la matière organique, une compaction, une baisse de la réserve en eau. Elles réduisent également la biodiversité locale (lombrics, microorganismes telluriques). Une solution radicale pour éliminer ou réduire les périodes de sol nu consiste à effectuer des cultures en relais : la seconde culture est implantée avant la récolte de la première (**Capillon, ce numéro**).



**Figure 4 : Dans ce système de couverture permanente, le blé a été implanté sous le couvert des tiges de maïs, juste après la récolte du maïs. Le soja a ensuite été semé à la place des chaumes de maïs, trois mois avant la récolte du blé. La moisson du blé a été effectuée avec une barre de coupe assez haute pour ne pas endommager le soja. Dans ce système, le sol reste couvert entre le maïs et le soja (Schepers, 2003)<sup>29</sup>.**

De telles pratiques ne sont possibles que si la réserve en eau du sol ou les précipitations/irrigations permettent d'enchaîner les cultures, et si le climat local permet aux

<sup>29</sup> Schepers J., 2003. Relay cropping offers economic benefits and reduces nitrate leaching from soils. <http://cropwatch.unl.edu/archives/2003/crop03-23.htm>

cultures successives de s'implanter. L'enchaînement d'une culture d'hiver (céréale) et d'une culture d'été (soja, pois, maïs) est le plus classique, et des technologies appropriées sont peu à peu disponibles. Ainsi, des enrobages de semences étanches à l'air et à l'eau mais biodégradables permettent de retarder de 1 à 2 mois la germination de la seconde culture, ce qui peut permettre de l'implanter à un stade où la première culture ne souffrira pas trop du travail d'implantation (par exemple avant l'épiaison de la céréale d'hiver). L'enchaînement d'une culture d'été et d'une culture d'hiver est recommandé pour la protection du sol pendant les hivers pluvieux tempérés ou méditerranéens, mais il est plus difficile. Ainsi, après un maïs, il est nécessaire d'attendre la récolte pour semer la céréale d'hiver, mais pour maintenir la couverture du sol les chaumes de maïs sont laissées en place.

#### *5.1.4 Les surfaces de compensation écologique, réservoirs de biodiversité nécessaires aux systèmes de culture*

L'idée que les systèmes de culture ne se réduisent pas au cœur des parcelles cultivées fait son chemin. Plusieurs travaux récents montrent l'importance de raisonner l'espace rural comme un continuum, qui est un lieu d'échanges entre les diverses occupations du territoire. La recherche de continuités territoriales pour relier les espaces naturels résiduels ou forestiers, la nécessité de corridors de circulation pour les espèces sauvages sont des éléments nouveaux à prendre en compte. Les notions de banques de scarabées (beetle banks : ce sont des bandes enherbées qui protègent des populations de coléoptères auxiliaires), de jachères florales (des semis de mélanges floraux très favorables à certaines espèces d'auxiliaires tels que les syrphes, dont les larves se nourrissent des pucerons) sont des exemples inspirés par la lutte biologique contre les ravageurs. Les haies vives, les talus ou les cours d'eau, les pare-congère végétaux (des haies vives formées d'arbres et arbustes à feuilles persistantes dont la porosité est conçue pour stocker la neige à distance des voies de communication), les prairies extensives, les arbres isolés, les vergers haute-tige contribuent aussi à un maillage du territoire. En Suisse, certaines mesures concernent maintenant la mise en culture délibérée d'espèces rares de ... mauvaises herbes, telles que la nielle des blés ou le bleuet, qui offrent nourriture et refuge à de nombreux animaux. (SRVA, 2002)<sup>30</sup>.

Parmi toutes ces possibilités de compensation écologique, la France n'a retenu en 2005 que les bandes enherbées (d'une largeur de 5 à 10 mètres) comme obligation au titre des bonnes conditions agronomiques et environnementales. Mais les exploitants qui ont un système de production en monoculture (défini par plus de 90% de leur surface cultivée occupée par une seule culture) sont soumis à une obligation de couverture totale hivernale des sols, par des couverts végétaux définis de manière réglementaire.

Ces diverses options concourent toutes à remettre en cause l'hyper-spécialisation végétale du territoire, schéma de pensée qui a dominé notre développement agricole au cours des 50 dernières années. Mélanger les usages et les espaces, raisonner leurs interactions, organiser leurs échanges sont de nouvelles pistes de raisonnement.

#### *5.1.5 Les mélanges de variétés*

Printemps 2003, dans le sud-ouest de la France. Un jeune agriculteur récemment installé, suivant les conseils d'un ancien, sème des méteils fourragers en mélangeant 5 espèces (vesce, pois, avoine, orge, blé tendre). Été 2003 : la sécheresse et la canicule ont grillé toutes les cultures, mais les parcelles en méteil sont étonnamment vertes et productives

---

<sup>30</sup> SRVA, 2002. Compensation écologique dans l'exploitation : conditions, contributions et suggestions. [http://www.srva.ch/env/np\\_sce.htm](http://www.srva.ch/env/np_sce.htm)



(Figure 5). Les hypothèses évoquées pour expliquer ce succès sont multiples : meilleure couverture du sol qui a limité l'évaporation du sol, approfondissement des systèmes racinaires par la compétition interspécifique, effets microclimatiques des céréales hautes qui ont protégé les légumineuses, faibles attaques parasitaires dans ce milieu très hétérogène. Une belle illustration des effets de rusticité des couverts mixtes.



**Figure 5 : Un méteil inattendu (mélange de vesce, pois, avoine, orge et blé tendre) qui a remarquablement résisté aux conditions de sécheresse et de canicule de l'été 2003 dans le sud-ouest.**

Ce qu'un agriculteur a expérimenté un peu par hasard en 2003, quelques chercheurs l'étudient désormais avec attention. Ainsi, les mélanges de variétés apparaissent de plus en plus comme une piste intéressante pour améliorer la résistance des cultures aux maladies, et diminuer les besoins en produits phytosanitaires. Darwin (Dans *L'origine des espèces*) avait déjà remarqué que les mélanges de variétés de blé étaient plus productifs, mais il n'en avait pas identifié le mécanisme. Des résultats récents montrent que les mélanges de variétés, expérimentés à grande échelle sur le riz dans le Yunnan (Zhu *et al*, 2000)<sup>31</sup>, permettent de réduire considérablement les maladies fongiques. Des travaux similaires sur les céréales tempérées sont rares, mais vont dans le même sens, par exemple pour les mélanges de variétés de blé (Wolfe, 2000)<sup>32</sup>. En amont, préconiser des systèmes de mélanges variétaux nécessite une modification profonde des critères de sélection des variétés : les sélections variétales actuelles sont toutes faites pour des cultures pures, et il n'y a pas de raison de penser qu'une variété sélectionnée dans ces conditions est optimale pour des conditions de culture mixte. De la même manière, comment imaginer que les variétés sélectionnées en pleine lumière soient optimales pour les conditions d'ombre légère des systèmes agroforestiers ? A notre connaissance, seuls les Etats-Unis ont quelques programmes de sélection de variétés de graminées fourragères adaptées à l'ombre, donc aux systèmes agroforestiers.

---

<sup>31</sup> Zhu, Y. *et al*. 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406, 718–722.

<sup>32</sup> Wolfe M.S., 2000. Crop strength through diversity. *Nature*, Vol 406, 681-682.

## **5.2 Quelle pertinence pour ces travaux dans un contexte réglementaire en profonde mutation en Europe ?**

La récente évolution de la PAC traduit une prise en compte de plus en plus forte des impératifs environnementaux. Dans ce contexte, les systèmes de culture pluri-spécifiques devraient naturellement trouver une place de choix. Le découplage des aides de la production redonne une liberté aux exploitants qui devrait leur permettre d'adopter des pratiques variées. La mise en place de l'éco-conditionnalité (respect des Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales) est une évolution majeure. En exigeant la mise en place de couverts environnementaux sur une proportion significative de la SAU (3% actuellement en France, mais 10% en Suisse), c'est toute la démarche d'une agriculture intégrée qui est favorisée. Des ajustements réglementaires seront cependant nécessaires. Ainsi, l'APCA demande actuellement que l'emprise des arbres dans les parcelles agroforestières soit comptabilisée au titre de ces couverts environnementaux. Par ailleurs, la mesure en faveur de la diversité de l'assolement (obligation de cultures Intermédiaires pièges à nitrates - CIPAN- dans les systèmes de monoculture) pousse vers l'adoption de ces pratiques.

## **5.3 Quand les réglementations ont des effets pervers**

Réintroduire une diversité biologique dans les systèmes cultivés est, pour nous, une condition sine qua non pour obtenir à terme une agriculture réellement durable. La difficulté vient du fait que peu de services environnementaux induits par cette diversité sont directement bénéfiques à l'agriculteur (comme la pollinisation, la diminution de l'impact des ravageurs, ou parfois une productivité accrue), et que les autres services bénéficient indirectement à l'ensemble de la société. Les agriculteurs ne sont donc pas naturellement enclins à adopter ces systèmes innovants. C'est pourquoi la ré-orientation en cours, à l'échelle mondiale, des soutiens aux producteurs agricoles vers des aides « vertes » destinées à favoriser des systèmes respectueux de l'environnement et durables est indispensable.

Certains pays européens, tels l'Autriche, ont franchi le pas, en profitant de la réforme de la PAC en cours pour donner plus de poids aux aides du second pilier (aides « vertes ») qu'à celles du premier pilier (aides aux surfaces). D'autres pays, comme la France, en adoptant des références historiques par exploitation pour les montants des aides du premier pilier de la PAC, ont pris une option qui pénalise parfois les exploitations qui s'étaient engagées dans la bonne direction avant la réforme. Deux exemples simples permettent d'illustrer cet effet pervers :

Premier exemple : une exploitation qui, au cours des années de référence (2000 à 2002), avait protégé des arbres existants ou installé de jeunes arbres sur sa SAU (haies, arbres espacés) était pénalisée par la déduction (souvent forfaitaire et exagérée) de l'emprise des arbres de ses surfaces éligibles aux aides de la PAC. En adoptant la référence historique par exploitation, cette pénalité est maintenue pour l'avenir : les arbres ruraux continueront à coûter cher à cet exploitant, même s'il les arrache !

Second exemple : une exploitation de polyculture-élevage qui, suivant les recommandations européennes et françaises, avait remplacé progressivement des surfaces de maïs fourrager par des prairies pérennes à base de mélanges graminées-légumineuses recevait au cours des années de référence (2000-2002) des aides plus faibles. Sa référence historique par hectare est donc pénalisée pour l'ensemble des années à venir. La pénalité n'est pas négligeable... Il aurait mieux valu pour cet exploitant continuer à cultiver du maïs.

Ces signaux contradictoires ne sont pas de nature à inciter les agriculteurs à aller dans la bonne direction. Une approche plus cohérente est souhaitable, telle que celle préconisée par exemple pour les systèmes agroforestiers par un groupe de travail d'un projet Européen récent (Lawson *et al*, 2005)<sup>33</sup> : considérer que les arbres ruraux font partie intégrante du système de production, et ne plus déduire leur emprise des surfaces éligibles aux aides de la PAC (dans une limite raisonnable de l'emprise des arbres). Une telle mesure, simple, cohérente, facile à contrôler, permettrait à la fois d'importantes économies d'argent (actuellement nécessaire pour contrôler les surfaces émietées occupées par les arbres) et supprimerait une conséquence probablement non voulue au départ, mais bien réelle : avec les réglementations actuelles, les systèmes diversifiés (agroforesterie, cultures associées) ne sont pas, malgré leurs performances, sur un pied d'égalité économique avec les systèmes spécialisés intensifs.

#### **5.4 Comment réorienter la recherche vers l'exploration de ces possibles ?**

Pour sortir de la logique de la spécialisation et de la simplification des itinéraires techniques, les agriculteurs ont besoin d'un soutien technique important. Les travaux de recherche sur la réintroduction de la diversité végétale dans les systèmes de culture sont actuellement très limités. Pourtant, les perspectives pour 2050 sont convergentes : l'agriculture terrestre devra nourrir et habiller 9 milliards d'humains, avec une demande accrue de protéines animales (donc de céréales fourragères), mais des ressources en énergies fossiles raréfiées. L'enjeu est impressionnant, car il exige, si l'humanité veut préserver son patrimoine d'écosystèmes naturels, une amélioration importante de la productivité des surfaces actuellement cultivées, tout en faisant des progrès significatifs pour leur durabilité. Le génie écologique permettra-t-il un tel miracle ? Beaucoup sont persuadés que le génie génétique y contribuera largement (Huang *et al*, 2002<sup>34</sup>, DeVries & Toenniessen, 2001<sup>35</sup>). Les deux approches sont a priori peu compatibles. L'itinéraire technique conçu pour une variété transgénique résistante à un herbicide conduit bien entendu à une parcelle parfaitement « propre », sans aucune biodiversité. C'est a priori l'exact opposé du génie écologique, qui cherche à maintenir une biodiversité au sein des parcelles cultivées. Mais pour préserver la biodiversité dans l'espace rural, vaut-il mieux des champs très « propres » bordés de larges bandes d'herbes folles, ou vaut-il mieux des mélanges d'espèces à l'intérieur même des champs ? L'incorporation de variétés transgéniques dans des systèmes de culture mixtes n'est peut-être pas un objectif si absurde, mais personne ne s'est encore posé cette question. Pour une variété transgénique résistante à un insecte ou à un virus, la compatibilité avec des systèmes mixtes semble possible, à condition que la résistance soit extrêmement ciblée sur un prédateur. Combiner productivité (avec les apports de l'amélioration génétique, par voie conventionnelle ou par transgénèse) et durabilité environnementale (avec les concepts de l'agro-écologie) est une hypothèse séduisante qui mérite plus d'efforts de recherche, et un dialogue entre des écoles de pensée qui s'ignorent.

## **6 Conclusion**

Les pays tropicaux comme les pays tempérés, sont, pour des raisons parfois différentes, à la recherche d'une agriculture moderne capable de fournir des produits alimentaires à une

---

<sup>33</sup> Lawson G., Dupraz C., Liagre F., Moreno G., Paris P., Papanastasis V. 2005. Options for Agroforestry Policy in the European Union. Deliverable 9.3 of the SAFE European project. Disponible à <http://www.montpellier.inra.fr/safe/english/PAC/prepared/D9-3.pdf>

<sup>34</sup> Huang J., Pray C., Rozelle S. 2002. Enhancing the crops to feed the poor. *Nature*, Vol 418 678-684.

<sup>35</sup> De Vries, J. & Toenniessen, G. 2001. *Securing the Harvest: Biotechnology, Breeding, and Seed Systems for African Crops* CAB International, Wallingford.

population mondiale croissante. Cette agriculture devra en même temps être économe en énergies fossiles et préserver les ressources naturelles. Une des voies intéressantes semble être d'utiliser autant que possible dans les agrosystèmes des mécanismes qui sont à l'œuvre dans les écosystèmes naturels et notamment la pluri-spécificité. Le mélange d'espèces dans les systèmes de production agricoles peut contribuer à améliorer la productivité, préserver l'environnement, économiser les intrants, organiser l'espace agroécologique des territoires.

Les résultats de travaux conduits dans des situations diverses sont encourageants et les agriculteurs sont sensibles aux approches nouvelles des systèmes de production. L'agroforesterie, les mélanges d'espèces, les semis sous couverts, les surfaces de compensation écologique sont des options désormais disponibles. D'autres, issues de la synthèse du génie agro-écologique et du génie génétique seront progressivement mises au point. Il faut maintenant que la volonté politique se prononce sur ces pratiques et sur leur capacité à répondre aux enjeux de l'agriculture. Des mesures nationales et communautaires devraient accompagner le changement pour l'agriculture européenne en adoptant une approche plus intégrée des questions de production et de protection.