

## Chapitre 3

---

# De la parcelle à la planète : problèmes d'échelle et de couplage entre fonctions de l'agriculture

FRANÇOIS PAPY

Au cours de la période historique couverte par cet ouvrage, les agronomes ont été confrontés à des problèmes d'échelle (portant sur des processus naturels et des systèmes de décisions) ainsi qu'à des problèmes de couplage entre fonctions de l'agriculture (notamment entre fonctions productive et environnementale). Ces deux types de problèmes sont apparus progressivement, liés entre eux et de plus en plus complexes. Ainsi, au début de la période, quand la fonction première de l'agriculture est la production, le niveau où sont étudiés les processus d'élaboration de la production des cultures est celui de la parcelle. Les décisions portant sur ces processus se prennent à ce niveau, mais aussi à d'autres niveaux d'ordre supérieur (système de production, système d'amenée de l'eau aux parcelles, bassins d'approvisionnement en produits agricoles dans les filières, politiques commerciales, etc.). L'ensemble de ces niveaux d'organisation étant liés entre eux, on peut parler de système agraire (Deffontaines et Osty, 1977). D'un niveau à l'autre existent souvent des discordances entre les objectifs visés. Il revient alors aux agronomes d'imaginer des solutions de compromis. Mais peuvent exister aussi des complémentarités à mettre en synergie. Les problèmes d'échelle changent de nature lorsque, au tournant du siècle, apparaît la nécessité de coupler les fonctions productive et environnementale de l'agriculture. Dès lors, à l'étude des processus productifs de l'échelle parcellaire s'en ajoutent d'autres sur les flux d'eau, de terre, de gènes, d'organismes, de gaz, etc. Ils se développent tous dans une continuité spatiale au sein d'entités d'échelles supérieures à celle des parcelles (bassin-versant, bassin hydrologique, unité paysagère, région, continent, pour aller jusqu'aux limites de la planète). Il s'agit là d'échelles de processus, non d'organisations. Le problème se pose alors d'étudier comment concilier, à plusieurs échelles, une cohérence entre les objectifs des différents acteurs des territoires et la conduite des processus naturels assurant à la fois des récoltes de produits sains à l'échelle des parcelles et une bonne gestion de la continuité spatiale de nombreux flux. N'y aurait-il pas des discordances entre tous ces objectifs ?

Ce chapitre fait le récit de la façon dont les agronomes ont abordé ces problèmes. Il y est indiqué qu'ils n'ont pu y arriver qu'en collaborant avec d'autres disciplines. Certaines

de ces collaborations ont contribué à renforcer la discipline agronomique, d'autres relèvent plus d'une contribution à la formulation des problèmes à traiter ensemble. Cet aspect sera plus spécifiquement développé dans le chapitre 4. Ce chapitre 3 porte davantage sur les problèmes d'échelles et d'organisations.

## ► Problèmes d'échelles dans la phase productive de l'agriculture

### La parcelle cultivée, première entité de gestion des processus productifs

La parcelle cultivée est la plus petite portion d'espace que l'agriculteur cultive de façon homogène pour en obtenir une production végétale. Les investigations des agronomes sur la parcelle culturale ont évolué au cours du temps. Jusqu'aux années 1960, les agronomes cherchent d'abord à mettre au point les techniques les plus performantes en privilégiant la voie expérimentale (chapitres 2 et 4). Demolon avait déjà bien souligné qu'il y avait une liaison entre variété cultivée, date et densité de semis, fertilisation azotée et rendement. Aussi les techniques à appliquer sont-elles reconnues comme liées entre elles, en ce qui a été appelé « paquet technique ». Par des essais multilocaux, en station d'agronomie, ces paquets techniques sont mis au point avec comme objectif le meilleur rendement possible. Des méthodes expérimentales donnent une puissance statistique aux comparaisons entre paquets techniques en s'assurant que ces derniers sont appliqués à un même milieu (chapitre 2). Les essais les plus simples établissent des relations directes entre une technique et le rendement, les plus complexes des relations entre paquet technique et rendement. Pas de théorie explicative de ces relations. Sans doute malgré tout quelques bribes, mais sans tentative de vérification. Les paquets techniques ayant fait leur preuve en station expérimentale sont considérés comme pouvant être appliqués à la parcelle cultivée par des agriculteurs. Cette conception a longtemps prévalu tant en métropole que dans les nombreux organismes de recherche des pays colonisés, même après leur indépendance.

À partir des années 1960, avec la volonté de comprendre les pratiques, à l'Inra (laboratoire des techniques culturales) comme à l'INA (chaire d'agriculture), la parcelle de culture est devenue pour les agronomes leur objet d'étude privilégié grâce à l'adoption d'une démarche clinique (chapitres 2 et 4) sur le fonctionnement de l'ensemble « climat-sol-plantes cultivées-techniques ». Mais une question a vite surgi. Alors que la démarche expérimentale assurait une bonne correspondance entre la séquence technique testée et le milieu sur lequel elle était appliquée, qu'en était-il de cette correspondance dans une parcelle cultivée ? *A priori*, l'homogénéité de milieu n'y est pas assurée. À l'échelle de la parcelle, les agronomes prennent conscience de la discordance qui peut exister entre entité de gestion et entité écologique fonctionnelle d'analyse des processus d'élaboration du rendement. Sur l'entité de gestion (la parcelle) est appliqué ce que les agronomes ont appelé l'« itinéraire technique », qui se définit par l'homogénéité de la succession des interventions culturales et non pas des terrains (chapitres 1 et 4). Or la démarche clinique exige d'étudier l'effet d'un itinéraire technique sur une entité écologique fonctionnelle (climat-sol-végétation) homogène. Si bien que sur une parcelle hétérogène par la nature des terrains (échelle spatiale) ou du précédent cultural (échelle temporelle), il devient nécessaire d'y

distinguer des zones homogènes au sein desquelles sont choisies des stations représentatives de ce que les agronomes appellent d'abord « agrosystème » (Meynard, 1998) avant de parler d'agroécosystème<sup>1</sup>.

À cet égard, une comparaison entre types d'agricultures est instructive. Dans les agricultures manuelles ou à traction animale, du fait de la lenteur des travaux et de la faible puissance de travail, les itinéraires techniques peuvent être adaptés à la différenciation des terrains à l'intérieur même d'une parcelle culturale (Milleville, 1972), tandis que des adaptations à une hétérogénéité des terrains allant jusqu'à modifier les dates d'intervention sont impossibles en agriculture mécanisée. Les seules possibles portent, à la marge, sur les doses d'épandages de produits chimiques. Dans les agricultures mécanisées, pour des raisons d'économie d'échelle et d'augmentation de la productivité du travail, les agriculteurs sont incités à augmenter la taille des parcelles. Le remembrement, effectué en France dans les années 1960 à 1980, réalisé dans une conception de géomètre peu soucieuse de respecter les caractéristiques du sol, a largement contribué à agrandir les parcelles jusqu'à regrouper plusieurs terrains (chapitre 8). La mécanisation d'ailleurs le permet, la puissance des tracteurs gommant la différence de résistance mécanique des sols. Une autre cause, cette fois non liée à la différence de terrain, peut expliquer l'hétérogénéité des parcelles. Le contour d'une parcelle destinée, une année donnée, à une culture peut résulter du regroupement de parcelles occupées, l'année précédente, par différentes cultures. La parcelle, définie par l'itinéraire technique pratiqué, regroupe alors plusieurs histoires culturales.

Dans une démarche clinique, ces causes d'hétérogénéité, constituant une discordance entre système technique et système écologique, doivent être repérées. De même que doivent aussi être repérés les cas où l'agriculteur a adapté son itinéraire technique à une différence soit de terrain, soit d'histoire culturale. C'est bien ce qui se passe aujourd'hui dans le cas de l'agriculture dite « de précision », rendue possible avec l'utilisation de capteurs de plus en plus précis permettant d'ajuster l'intervention technique à la mesure du milieu analysé<sup>2</sup>.

La démarche clinique doit donc s'appliquer, après examen de l'hétérogénéité des parcelles, dans des stations représentatives de zones homogènes, dimensionnées de manière à contenir la configuration élémentaire du sol et du peuplement végétal produite par les techniques. Notons que cette hétérogénéité a souvent été utilisée par les agronomes pour comparer des couples de stations dans des dispositifs d'enquêtes (voir chapitre 2, « Valoriser la variabilité au lieu de la contraindre : l'ère de l'enquête et de l'analyse de données »). En culture monospécifique, la taille d'une station est de l'ordre de grandeur de quelques centaines de mètres carrés (10 m × une largeur définie par celle des outils). C'est donc sur des stations ainsi choisies, définies par le milieu, le précédent, l'itinéraire technique, représentatives d'un ensemble « climat-sol-plantes-technique » donné, que les agronomes établissent leurs diagnostics. Le tour de plaine, l'examen du profil cultural ou les schémas d'élaboration du rendement ont constitué les premiers outils de diagnostic (chapitres 1, 2 et 4).

1. Nous verrons au chapitre 4 que les agroécosystèmes se définissent à plusieurs niveaux d'échelles emboîtés. Il s'agit ici d'un agroécosystème d'échelle intraparcellaire.

2. Il ne faut cependant pas perdre de vue que, n'adaptant pas les dates de semis ou de plantation, pas plus que les variétés aux terrains et au précédent, cette agriculture, dite pourtant « de précision », est moins adaptée aux potentialités des terrains ou à « l'effet précédent » que celle qui en tiendrait compte par le découpage parcellaire.

Les diagnostics agronomiques portent également sur le maintien des capacités productives d'une parcelle, car l'état du milieu évolue entre le début et la fin de l'application d'un itinéraire technique. Ce maintien, autour d'un état moyen, est assuré par une rotation d'espèces cultivées aux caractéristiques culturales différentes. En généralisant le concept d'itinéraire technique (échelle temporelle du cycle cultural) à une succession de cultures (pas de temps long), Sebillotte reconceptualise celui de système de culture à partir du sens premier qui avait été donné à ce terme au XVIII<sup>e</sup> siècle (chapitre 1, encadré 1.6). Le système de culture est une succession logique et ordonnée de cultures (visant à entretenir, autour d'un état moyen, les capacités productives du milieu), chacune étant conduite selon une succession logique et ordonnée d'interventions, visant un certain niveau de production. Aux diagnostics portant sur l'élaboration du rendement, les agronomes en ajoutent sur le maintien de la fertilité par les composantes du milieu qui évoluent au cours du temps. Mais, plutôt que le concept de fertilité, ils préfèrent celui d'aptitude culturale pour souligner qu'il n'y a pas de fertilité en soi, mais par rapport à un système de culture (Boiffin et Sebillotte, 1982). Cependant, les systèmes de culture évoluent également, quelquefois fortement comme nous le verrons plus loin. Il faut donc se demander à quelles conditions au cours de leur évolution à long terme les états biophysiques du sol conservent une bonne aptitude culturale. En étudiant l'entretien organique de parcelles appartenant à des exploitations agricoles ayant depuis plus ou moins longtemps abandonné l'élevage, Sebillotte *et al.* (1989) mesurent la chute de taux de matière organique pour les premières d'entre elles. Or ces parcelles ne conservent une bonne aptitude à maintenir des rendements élevés qu'au prix d'un usage exagéré d'intrants de synthèse qui vont entraîner une crise environnementale. Aussi doit-on se poser la question de savoir si l'on peut maintenir une bonne aptitude productive quoi qu'il en coûte.

Conçu pour des cultures annuelles, le concept de système de culture (succession de cultures et itinéraires techniques) peut également être appliqué à des parcelles culturales portant des espèces pérennes (comme en arboriculture et en viticulture) et des couverts complexes. Les couverts pérennes prairiaux sont généralement plurispécifiques, tandis que les couverts annuels sont très généralement monospécifiques. Cependant, dans de nombreuses agricultures traditionnelles à travers le monde, existent des agroécosystèmes à plusieurs espèces annuelles, comme la *milpa* au Mexique, où maïs, haricot et courge ont des fonctions complémentaires. Plus récemment, la recherche de synergies au sein d'un couvert végétal incite à mettre au point des associations de variétés d'une même espèce, ou encore d'espèces annuelles (notamment mélange de céréales et de légumineuses annuelles, ou culture principale en mélange avec une « plante compagne », seule la première étant récoltée), ou enfin d'espèces pérennes et d'espèces annuelles, comme en agroforesterie. Que le peuplement soit mono ou plurispécifique, en raison des interactions existant entre espèces, l'agroécosystème, identifié dans une station représentative de l'ensemble du peuplement, est cultivé comme un tout et doit donc être analysé comme tel.

À partir de leurs diagnostics à l'échelle des parcelles, les agronomes, cherchant à comprendre les pratiques des agriculteurs, ont été vite conduits à aborder un niveau d'organisation d'ordre supérieur où sont prises les décisions de conduite des parcelles et des troupeaux : l'exploitation agricole.

## L'exploitation agricole, entité de gestion d'un système de production

La première conception de l'exploitation agricole par les agronomes, fondée sur la meilleure façon d'articuler une rotation de cultures (censée maintenir la fertilité) à l'assolement qui lui correspond (censé garantir l'étalement des travaux dans de bonnes conditions tout au long de l'année), est plutôt normative. Dans les années 1960, Hénin et les premiers assistants qu'il recrute à l'Institut national agronomique (INA) initient une démarche fondée sur un outil de recherche opérationnelle, pratiquée par les sciences de gestion : la programmation linéaire. C'est une méthode d'optimisation de la production sous contraintes. Elle est utilisée sur la ferme que l'INA possède à Palaiseau par Hénin et Fraigneau (1960), ensuite par Lefort et Sebillotte (1964a; 1964b). Ces derniers définissent plusieurs rotations répondant à des exigences de maintien de la fertilité et utilisent la programmation linéaire pour déterminer la meilleure combinaison de ces rotations qui, compte tenu des jours disponibles considérés comme variable aléatoire, minimise les risques.

Au début des années 1970, au sein de la chaire d'agriculture de l'INA est créée une unité de valeur intitulée « Étude de l'exploitation agricole ». Sebillotte y développe l'idée que pour transformer leur diagnostic en préconisation pour les agriculteurs, les agronomes doivent comprendre que les agriculteurs sont dans l'impossibilité de conduire toutes leurs parcelles à l'optimum et que, par ailleurs, ils peuvent avoir des objectifs qui leur sont propres. Cela ouvre, selon lui, la possibilité de juger si la conduite des cultures (et des troupeaux) est concordante ou discordante avec les objectifs de l'agriculteur<sup>3</sup>. Ces derniers ne se limitent pas à la seule démarche d'optimisation du profit, comme le suppose la programmation linéaire, mais visent aussi des logiques de gestion familiale de patrimoine, ainsi que l'ont montré des économistes comme Petit et Brossier, enseignants à l'École nationale supérieure des sciences agronomiques appliquées (Enssaa). Aussi les agronomes sont-ils conduits à analyser la diversité des objectifs des agriculteurs et des situations afin d'adapter le conseil technique aux différentes exploitations. Cette nouvelle approche des exploitations agricoles se développe aussi au Service d'expérimentation et d'information (SEI) de l'Inra, ainsi qu'à l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II de Rabat (IAVH II), où l'apport de la sociologie est manifeste pour comprendre les objectifs de l'agriculteur.

Dans la spécialisation de troisième année de l'INA, Sebillotte fait faire chaque année aux étudiants une étude régionale qui occupe une place déterminante dans la pédagogie (chapitre 7). Il s'agit d'y différencier des types d'exploitation et d'analyser leurs possibilités d'évolution pour leur adapter des plans de développement (Cnasea-Geara, 1975). La catégorisation des exploitations se distingue clairement de celle faite par la statistique agricole qui sert cependant à constituer l'échantillon des exploitations où mener des enquêtes. Les objectifs recherchés par l'agriculteur, les moyens de production mis en œuvre et la trajectoire d'évolution de l'exploitation occupent une grande place dans les schémas de fonctionnement des exploitations enquêtées. Au SEI de l'Inra, les études sur les exploitations sont entreprises sous l'impulsion de Deffontaines avec des étudiants de l'Enssaa. Dès 1973, dans le canton de Rambervilliers (département des Vosges), est réalisée une étude dont il sortira plus tard une formalisation,

---

3. Sebillotte parle de faire un « double diagnostic » : l'un du point de vue que se donne l'agronome, l'autre en fonction des objectifs de l'agriculteur (chapitre 4).

souvent citée en référence, de l'exploitation agricole vue comme un système de relations entre système de production et famille (Osty, 1978). En écrivant «l'exploitation est un tout organisé qui ne répond pas à des critères simples et uniformes d'optimisation, et c'est à partir de la vision qu'ont les agriculteurs de leurs objectifs et de leurs situations qu'on peut comprendre leurs décisions et leurs besoins», Osty résume bien l'optique dans laquelle les agronomes étudient l'exploitation au cours de cette période.

La diversité des exploitations est mise en évidence grâce à des typologies. Les premières sont fondées sur les projets et les situations des agriculteurs par des économistes (Brossier et Petit, 1977) et sur leurs trajectoires d'évolution (Capillon et Manichon, 1979). Pour en faciliter la généralisation, plusieurs méthodes sont proposées. Certaines sont fondées sur un modèle synthétique du fonctionnement de l'exploitation agricole (Jouve, 1986) et d'autres sur une méthode à dire d'experts (Perrot, 1990). Reprenant les nombreux travaux sur le fonctionnement des exploitations réalisées dans les études régionales de la chaire d'agronomie de l'INA, Capillon, dans sa thèse (1993), en fait la synthèse. Il propose une méthode de typologie à partir d'enquêtes faites sur un échantillon d'exploitations constitué à partir du Recensement général agricole (RGA). Des types de trajectoires d'exploitations sont définis sur cet échantillon autour d'objectifs identifiés et de moyens mis en œuvre. Ils sont ensuite repérés par des caractéristiques statistiques de dimensions et de systèmes de production qui permettent, à partir du RGA, d'en estimer l'importance relative dans la région étudiée.

Dans les pays du Sud, au Centre international de recherche agronomique pour le développement (Cirad) comme à la chaire d'agriculture comparée de l'INA, et au Centre national d'études agronomiques des régions chaudes (Cnearc), les travaux sur les typologies régionales se sont développés (Jouve, 1986; Jamin *et al.*, 2007; Cochet *et al.*, 2018). Ils révèlent des situations bien différentes de celles rencontrées dans les pays industrialisés. Le centre de décision, complexe, résulte souvent d'un emboîtement d'organisations sociales (Gastellu, 1980). Les trajectoires d'exploitation se différencient par un accès inégal aux ressources naturelles (le bien foncier, la qualité des terrains, l'eau d'irrigation), aux techniques (mécanisation, intrants), au crédit... et aux débouchés. De plus, les exploitations familiales en Afrique tirent souvent leurs revenus de l'agriculture, mais aussi d'autres activités exercées en milieu rural, en ville ou encore dans d'autres pays. Et depuis le début des années 1980, qui marquent l'arrêt des interventions publiques, de nombreuses petites exploitations, à des degrés divers selon les pays, se trouvent en concurrence avec des exploitations patronales capables d'investir (Malézieux et Moustier, 2005).

En France, la démarche de typologie des exploitations s'avère également utile aux agents du développement agricole, d'autant plus que les exploitations se diversifient et s'éloignent du modèle unique d'exploitation familiale à deux unités de travailleur humain (UTH) des politiques agricoles des années 1960. Les États généraux du développement agricole, tenus dans toute la France en 1982, font prendre conscience de cette diversification. L'opération de Relance agronomique donne des outils pour la prendre en compte (chapitre 8).

À partir de l'analyse typologique, une troisième étape s'enclenche au cours des années 1980. Déjà débuté dans les Vosges (Groupe de recherche Inra et Enssaa, 1977), le croisement entre types d'exploitations et types de terrains est poursuivi dans d'autres régions. Dans le Noyonnais, Soler (1989), analysant la disparité des revenus entre

exploitations, montre qu'existe un lien entre type d'exploitation et qualité des terrains sur lesquels il est localisé. Un type a donc une certaine pertinence pour représenter le fonctionnement moyen d'un ensemble d'exploitations situées dans des conditions similaires. Cependant, Soler montre également qu'au sein de chaque type la disparité de revenus est encore très forte. Le type est donc assez loin de représenter les problèmes de chaque exploitation individuelle.

C'est pourquoi, au sein du département Systèmes agraires et développement (SAD) de l'Inra, agronomes, zootechniciens et économistes théorisent la gestion technique des exploitations. L'objectif est de produire des outils d'aide à la décision en construisant une vision structurée des relations entre pratiques, définies à l'échelon des parcelles et des troupeaux, et organisation de l'ensemble du système de production pour accompagner les agriculteurs dans la résolution de leurs problèmes techniques. Ainsi, s'appuyant sur la théorie du comportement adaptatif de Michel Petit, professeur d'économie à l'Enssaa de Dijon, les agronomes associés à des spécialistes des sciences de gestion adaptent à la très petite entreprise qu'est l'exploitation agricole des concepts et démarches venant du secteur industriel (Sebillotte et Soler, 1990; Aubry, 2000; Coléno et Duru, 2005).

Deux grandes catégories de décision sont distinguées : les décisions cycliques récurrentes dites « de campagne », pour lesquelles le concept de modèle d'action (chapitres 1 et 4), conçu à l'échelle de la parcelle, s'applique bien; les décisions stratégiques, qui portent sur des champs décisionnels distincts (le choix des productions végétales et animales, l'achat de matériel, la signature de contrat avec une industrie d'aval, etc.) et cependant reliés entre eux. Ces décisions stratégiques de long terme sont reliées aux décisions cycliques de campagne et sont prises en fonction d'objectifs vers lesquels il faut tendre. L'organisation du travail dans les exploitations agricoles est un exemple d'articulation entre des décisions stratégiques portant sur l'équipement et la main-d'œuvre et les décisions de conduite des cultures à la parcelle. Formalisant le modèle d'action de l'organisation du travail d'un agriculteur, des agronomes simulent ces règles sous différents scénarios climatiques et testent si un niveau d'équipement et de main-d'œuvre donné permet une conduite satisfaisante des cultures (Papy *et al.*, 1988; Attonaty *et al.*, 1991). De tels travaux ont été utilisés sous la forme d'outils d'aide à la décision en agroéquipement (Moussset, 1996).

Qu'elles soient stratégiques ou cycliques, les décisions techniques au sein d'une exploitation agricole consistent à obtenir des produits agricoles à partir de ressources comme la terre (les parcelles et leurs terrains, leur configuration spatiale), le travail (la main-d'œuvre et les équipements), les intrants (semences, engrais, amendements, pesticides) et, dans les exploitations ayant de l'élevage, les ressources fourragères (Papy, 2001; Coléno et Duru, 2005). L'analyse des systèmes de décision pour mobiliser ces ressources montre qu'elles ne portent généralement pas directement sur la conduite des parcelles ou des animaux, mais sur des regroupements de parcelles (blocs de culture, sole, lot de parcelles) ou d'animaux (troupeau, lot d'animaux). La gestion de l'ensemble du système de production incite à conduire de façon concordante des parcelles séparées dans l'espace.

Les décisions d'allocation de la ressource « terre » aux différentes cultures permettent de reconstituer des blocs de culture, ensemble de parcelles portant une rotation-cadre (Maxime *et al.*, 1995; Aubry *et al.*, 1998). Cette dernière donne de la souplesse au

choix d'assolement pour l'adapter aux aléas de la météo et de la conjoncture économique. Elle se définit, d'une part, par une succession de cultures organisée autour d'une culture principale qui impose aux autres son délai de retour sur elle-même et, d'autre part, par des règles de succession entre les autres cultures permettant des remplacements de culture. Deux déterminants principaux entrent en jeu dans l'allocation de la terre : la nature des terrains (texture et profondeur du sol, pente, exposition et hydromorphie) et des aménagements qui y sont réalisés (drainage, irrigation), qui justifient qu'on y cultive ou non telles ou telles espèces végétales ; la distance aux bâtiments (hangar à matériel, étable, etc.), qui influe sur l'organisation du travail et la surveillance (Morlon et Benoit, 1990). Le poids respectif de ces deux éléments diffère selon les choix stratégiques faits par l'agriculteur. Dans les exploitations sans élevage, l'aptitude des terrains est primordiale, même si l'éloignement peut jouer. Dans les exploitations de polyculture-élevage, les deux éléments sont pris en compte de façon différente selon le type d'élevage. Par exemple, dans les systèmes laitiers pâturant qui existent sur le plateau lorrain, les parcelles proches de l'étable sont consacrées à de la prairie destinée aux vaches en production, tandis que pour les animaux n'exigeant pas cette proximité sont consacrées à la prairie les parcelles, où qu'elles soient, peu aptes à porter des cultures (figure 3.1). On sait qu'un des intérêts principaux du couplage culture et élevage est le recyclage d'une grande partie des éléments minéraux contenus dans l'alimentation des animaux à travers la redistribution des effluents d'élevage dans les parcelles. Aussi, pour juger de la pertinence de ces recyclages, on comprend bien l'intérêt de distinguer, au sein de ces exploitations, les blocs de cultures comportant éventuellement des prairies temporaires et les blocs de prairies permanentes pour évaluer, par des bilans, les transferts de matière qui existent entre eux.

Les décisions d'itinéraires techniques sont aussi construites sur des regroupements de parcelles. Aubry (2000) le montre sur la gestion d'une sole, ensemble des parcelles d'une même espèce cultivée, Coléno et Duru (2005) sur la conduite du pâturage qui se raisonne sur la totalité des prairies pâturées pour avoir une vue d'ensemble de la disponibilité en herbe. En grande culture, le regroupement de parcelles se fait dans les décisions d'organisation du travail et dans l'allocation des intrants. L'agriculteur regroupe les parcelles en lots redevables chacun d'une même variété, d'une même dose d'engrais ou de pesticide. Un lot représente ainsi l'unité de planification de la conduite des parcelles ; une parcelle-guide est souvent utilisée pour décider des moments d'intervention.

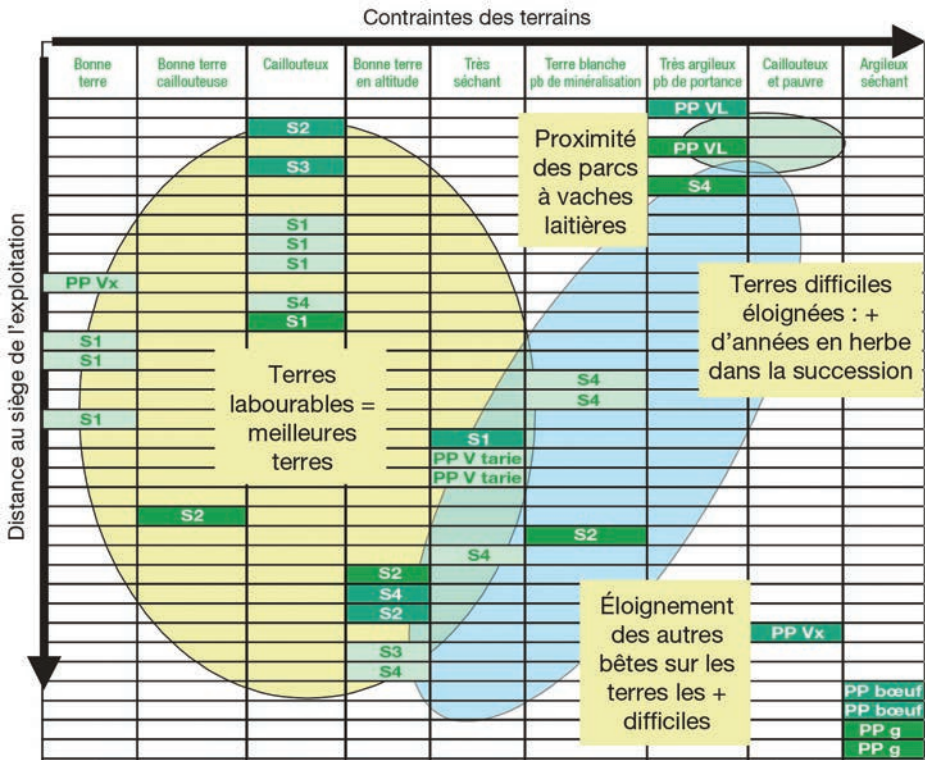
Dans les exploitations d'élevage, les troupeaux ont des besoins quantitatifs et qualitatifs qui évoluent au cours de l'année, mais qui sont continus et qu'il faut ajuster à la ressource offerte par le territoire fourrager qui a une production saisonnière. Pour ce faire, l'éleveur gère son troupeau en rassemblant les animaux en lots soumis à une même conduite alimentaire pour une durée donnée (Ingrand *et al.*, 1993). Nous verrons au chapitre 4 comment les agronomes des prairies, grâce à l'apport de nouveaux concepts de gestion, ont fait évoluer le modèle d'action tel qu'il était conçu jusqu'à présent sur la conduite de cultures annuelles pour concevoir le modèle de conduite du pâturage de l'éleveur.

Un exemple va permettre d'illustrer comment les agronomes repèrent les discordances entre le fonctionnement des agroécosystèmes et l'organisation des logiques d'action pour y remédier. Dans les exploitations de grande culture du Bassin parisien, l'apport



d'azote au stade « épi à 1 cm » du blé est considéré comme une bonne pratique pour optimiser le rendement. Or, dans les exploitations ayant une sole importante de betterave, les agriculteurs préfèrent sacrifier cet apport d'azote aux exigences de dates et conditions de semis de la culture de printemps. C'est pour répondre à ce problème de conflit entre niveaux de décision différents que Meynard (1985) propose un autre itinéraire technique pour le blé, n'ayant pas la même exigence de rendement que celui pratiqué jusqu'alors, mais ayant un meilleur rendement que celui obtenu avec un apport d'azote mal positionné dans le temps. Déconstruisant la logique des itinéraires techniques à usage intensif d'intrants, il conçoit ce nouvel itinéraire technique à moindre niveau d'intrants, ouvrant la voie à des recherches dont on comprendra très vite l'intérêt.

Cet exemple montre qu'il faut chercher comment coordonner au sein des exploitations agricoles (éventuellement rassemblées en type) des logiques d'action pour résoudre des problèmes de discordance entre elles. Nous allons voir maintenant qu'au-delà des exploitations agricoles existent d'autres niveaux d'organisation générateurs de logiques d'action.



**Figure 3.1.** Répartition des systèmes de culture et des troupeaux au pâturage sur les parcelles d'une exploitation lorraine en fonction de la nature des terrains et de la distance aux bâtiments d'exploitation (Benoit, 2006).

S1 à 4 : succession de cultures; PP : prairies permanentes; VL : vaches laitières; Vx : veaux; g : génisses. Les meilleures terres sont labourées et consacrées à différentes rotations de cultures annuelles. Les plus mauvaises sont essentiellement en prairies, permanentes pour la plupart, temporaires pour quelques-unes, les plus proches des bâtiments d'élevage étant destinées aux vaches laitières, les plus éloignées aux autres troupeaux.

## Les organisations de la production dans l'espace cultivé

C'est à travers une démarche géographique que l'espace cultivé a tout d'abord été appréhendé comme un tout par les agronomes. Dès les années 1970, Deffontaines, analysant les paysages des Vosges, commence à y observer des unités paysagères construites par les activités agricoles (Groupe de recherche Inra-Enssaa, 1977). Les rattachant plus tard à des champs géographiques, liés à la nature des milieux ou à des distances (à des lieux habités, des villes, des axes de communication, des centres de collecte, etc.), il définit des unités agrophysionomiques (UAP) (Deffontaines et Thinon, 2001). Ce sont des entités paysagères qui résultent des activités agricoles, constituées d'un ensemble de parcelles organisées dans l'espace selon un même patron; on y identifie la même diversité de cultures que celle qui existe dans les assolements pratiqués localement et le même parcellaire (mêmes formes et dimensionnement des parcelles, même nature des bordures de champs). Le constat que, même appartenant à des exploitations différentes, des parcelles voisines sont aménagées et cultivées de façon similaire fait penser qu'existent des surdéterminants de l'usage qui en est fait, s'appliquant identiquement dans le voisinage.

Dans certains pays tropicaux, l'organisation de l'espace cultivé est décidée à l'échelle du village. Et, comme le montre Jouve (2006), l'analyse de paysage met alors en évidence une répartition spatiale des systèmes de culture qui tient compte de la différenciation des terrains et de la distance au village. Elle est la manifestation d'une organisation agraire collective centralisée. Mais, même dans les pays où les centres de décision sont plus individualisés, les exploitations agricoles (et les systèmes de culture) ne sont pas organisées de façon quelconque dans l'espace (Lardon, 2006). Faisant l'histoire des paysages du plateau lorrain, Capitaine et Benoît (2012) montrent que les organisations spatiales héritées du passé résistent un certain temps à l'évolution des systèmes techniques agricoles, mais finissent par se modifier. Il existe, en effet, au-dessus de l'exploitation agricole un système agraire fait d'organisations collectives qui influencent les agriculteurs jusqu'à leur conduite des parcelles. Nous retiendrons pour illustrer ce propos des organismes d'aménagement de l'espace, et d'autres autour de la collecte et du traitement des produits agricoles à la sortie des parcelles.

Mais, à une autre échelle, l'analyse paysagère sensibilise aussi les agronomes à l'évolution des régions agricoles vers une spécialisation croissante. Les déterminants de cette évolution progressive sont abordés dans des travaux de macroéconomie et de géographie. Cependant, les agronomes contribuent à cette analyse en montrant comment y participent les organisations qui aménagent l'espace pour améliorer la production et celles qui l'écoulent.

## Les organismes d'aménagement de l'espace cultivé

Les aménagements sont souvent réalisés à une échelle régionale. Le remembrement est un aménagement qui a sensiblement transformé le paysage agricole. Aux mains des ingénieurs de génie rural, il a été réalisé en dehors des agronomes, sans trop tenir compte de la qualité des terrains, ainsi que nous l'avons vu, essentiellement pour faciliter la mécanisation. Le drainage des terres en excès d'eau fréquent a été, au contraire, adapté aux différents types de terrains (Favrot *et al.*, 1996). Dans les différents secteurs de référence portant sur le drainage, créés dans les années 1960-1970, des données

de profondeur et d'écartement des drains ont été établies par le Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts (Cemagref)<sup>4</sup>. Des modèles dits « saturés » permettent de prévoir le rabattement de la nappe. Sur le terrain, les agronomes constatent qu'en rabattant la nappe, le drainage améliore la portance des sols et la durée pendant laquelle ils peuvent être travaillés. En grande culture, les jours disponibles s'en trouvent augmentés et l'organisation du travail permet d'adopter des systèmes de culture plus productifs, tandis que de nombreuses prairies naturelles sont retournées et mises en culture, éventuellement en prairies artificielles (chapitre 8).

Mais c'est surtout autour de la gestion spatiale de la ressource en eau que les agronomes se sont le plus mobilisés. C'est que l'eau est largement utilisée par l'agriculture, jusqu'à 68 % de la consommation totale moyenne en France, en concurrence avec d'autres usages, surtout dans les régions où le déficit estival est marqué (Leenhardt *et al.*, 2012). La demande agricole peut y être bien supérieure à l'offre ou au rythme de renouvellement de celle-ci. Que la ressource en eau provienne de nappes souterraines ou de rivières (directement ou par une retenue), elle s'inscrit dans des unités hydrologiques spatialement délimitées, le bassin d'irrigation, au sein duquel une organisation sociale doit veiller à la répartition entre les différentes demandes. Or il n'est pas question que, les années à fort déficit, toute l'eau disponible soit consacrée à l'irrigation. Pour les autres usagers et pour la préservation de l'environnement, des seuils réglementaires de débit des rivières (le débit objectif d'étiage) et de niveaux des nappes ont été établis. Dès que ces niveaux sont atteints, des mesures de restrictions interviennent. L'accès à l'eau, dès lors qu'elle est rare, donne donc lieu à des conflits. On est là dans une situation d'arbitrages à faire entre l'agriculture et les autres activités, et, au sein de l'agriculture, entre systèmes de culture. Il y a donc discordance entre ce qui est souhaitable à l'échelle du bassin d'irrigation et à celle des exploitations et des parcelles.

La discordance est plus ou moins forte selon que la ressource en eau est constituée par une nappe alimentée par la percolation des pluies reçues sur le territoire ou qu'elle vient d'une rivière le traversant (Lemaire, 2000). Dans le premier cas, il faut faire la meilleure estimation possible du bilan moyen (pluies – évapotranspiration réelle) sur l'ensemble du territoire pour estimer ce qui peut être prélevé pour l'irrigation sans que le renouvellement de la nappe soit affecté. Il faut pour ce faire connaître la répartition spatiale des cultures sur toutes les parcelles du territoire (irriguées et non irriguées) en fonction du réservoir hydrique des sols. En pareil cas, l'accent doit être mis sur la meilleure estimation du bilan moyen afin de définir la surface maximale irrigable plus que sur des contraintes à l'échelle parcellaire. En effet, une irrigation en excès n'est pas trop grave, car le surplus rejoint la nappe. Quand la ressource en eau traverse le territoire, ce qui en limite l'utilisation est le débit objectif d'étiage. La gestion territoriale de l'eau est alors plus contraignante sur les quantités d'eau à fournir aux parcelles. Car une fois la campagne démarrée, l'assolement étant donné, le gestionnaire de l'eau fait le point des ressources disponibles pour répartir les volumes autorisés. Il affine au cours du temps l'estimation des besoins réels pour gérer l'adéquation offre/demande en temps réel. (Leenhardt *et al.*, 2018). Soit par exemple pour irriguer du maïs avec un volume limité à distribuer, il faudra que le calendrier privilégie les périodes les plus sensibles avec, pour répartir les risques, des doses unitaires modérées (Debaeke et Amigues, 2008).

---

4. Le Cemagref, devenu Institut de recherche scientifique et technique sur l'environnement et l'agriculture (Irstea), est rattaché depuis 2020 à l'Inra, devenu INRAE.

Dans tous les cas, les agronomes ont à donner des références de conduite des irrigations. Par exemple lorsqu'il s'agit de choisir entre différents scénarios pour discuter des choix de configurations à faire sur le bassin (Allain *et al.*, 2018), les agronomes apportent des estimations de besoins en eau de différents assolements. S'il faut réduire ces besoins, ils proposent des modifications d'assolement en introduisant des cultures d'été à moindre besoin (exemple : sorgho ou tournesol à la place du maïs) ou des cultures d'hiver à irrigation décalée par introduction de cultures semées tôt en hiver (pois, céréales) (Debaeke et Amigues, 2008).

### Les organismes de collecte et de traitement des produits agricoles

Malgré le développement actuel de circuits courts de commercialisation, les circuits longs sont largement dominants. Ils mettent en relation une demande diversifiée d'un nombre important de consommateurs avec une offre diversifiée et saisonnière de nombreux producteurs agricoles par l'intermédiaire d'un effectif réduit d'opérateurs intermédiaires. Parmi ces derniers, les premiers acheteurs des récoltes des agriculteurs ont un rôle déterminant sur le choix des assolements et des pratiques culturales des agriculteurs (Le Bail, 2012). C'est pourquoi les relations entre agriculteurs et premiers acheteurs ont été particulièrement étudiées par les agronomes. Au sein de bassins d'approvisionnement, ces entreprises collectent, stockent, trient, mélangent et transforment des produits venant d'un ensemble de parcelles appartenant à de nombreuses exploitations. L'entité du bassin d'approvisionnement est un lieu où se coordonnent des décisions portant sur la quantité et la qualité des produits traités. Des agronomes ont souvent accompagné les acteurs de bassins d'approvisionnement dans leur coordination. Le Bail et Le Gal (2011) montrent qu'à des degrés divers selon les cas étudiés, les investigations des agronomes sur les bassins d'approvisionnement ont porté sur trois points : les caractéristiques du milieu qui structurent cet espace pour identifier une répartition spatiale des quantités et qualités potentielles de la matière première agricole ; l'ensemble des objectifs et stratégies des différents acteurs en présence (agriculteurs, collecteurs, industriels) ; les différents outils de coordination entre acteurs (cahiers des charges, indicateurs de qualité, chartes, contrats, etc.).

Au sein de bassins d'approvisionnement ont souvent été valorisées des complémentarités entre caractéristiques de milieu ou encore entre types d'exploitations. Ainsi, les industriels fabricants de pâtes constituent des lots de blé dur à partir de collectes dans plusieurs régions aux qualités spécifiques pour s'assurer d'une homogénéité de production malgré les aléas climatiques (Le Bail, 2001). Le tableau 3.1 illustre bien que cette collecte peut porter sur des parcelles très dispersées dans l'espace.

**Tableau 3.1.** Critères de qualité et rendement du blé dur pour la production de pâtes dans trois régions françaises (Le Bail, 2001).

Région	Sud-Est	Sud-Ouest	Centre
Indice de jaune	-	+	++
Indice de brun	-	+	+
Moucheture	- (irrégulier)	--	+
Ténacité	++	+	--
Vitrosité	+	-	- (irrégulier)
Rendement	Irrégulier	Moyen	Fort

Dans la zone Centre, avec des variétés résistantes au gel, on obtient de bons rendements, un bon indice de jaune, mais une faible ténacité. Il existe des risques de moucheture si la fin du cycle est humide. Dans le Sud-Est, en raison de forts déficits hydriques, les rendements sont irréguliers, mais les blés sont recherchés pour leur forte ténacité. Le Sud-Ouest présente des conditions de production intermédiaires.

D'autres, comme les malteurs, ayant besoin d'une qualité stable des orges quelles que soient les conditions de culture, ont eu recours à des agronomes pour définir des cahiers des charges précis sur les itinéraires techniques à suivre. Le Bail et Meynard (2003) les ont conçus en fonction de la nature des terrains et du précédent pour atteindre deux objectifs antagonistes : un rendement suffisant et une teneur en protéines inférieure à 11,5 %. Dans un autre exemple, pris encore dans les filières meunières, il a été demandé aux agronomes un indicateur de classement précoce des parcelles de blé tendre pour séparer la collecte en deux lots en fonction du taux de protéines. À plus de 11,5 %, le lot est destiné à la panification, à moins, à la biscuiterie. Pour augmenter la production de sucre à l'échelle d'un bassin sucrier en Afrique du Sud, Le Gal *et al.* (2008) ont cherché à comprendre l'ensemble du fonctionnement du bassin. Ils ont pu ainsi proposer un dispositif de coordination entre tous les acteurs. Enfin, l'exemple étudié par Navarrete *et al.* (2006) sur la production maraîchère en Languedoc-Roussillon illustre bien la complémentarité qu'il est possible de faire jouer, au sein d'un bassin d'approvisionnement, entre exploitations aux logiques de production variées pour arriver à étaler la production, à diversifier la gamme et à réduire les traitements phytosanitaires, objectifs qu'ensemble aucune d'elles ne pourrait atteindre. C'est une bonne illustration qu'il peut exister des propriétés qui émergent au sein d'un niveau d'échelle d'ordre supérieur.

## La spécialisation régionale des productions agricoles

Au cours de la période historique étudiée, l'orientation productive donnée à l'agriculture a entraîné une spécialisation régionale : d'un côté, des régions intensifiées en productions végétales ou animales (à fort usage d'intrants chimiques – engrais, pesticides, aliments concentrés, antibiotiques – et d'énergie) et, d'un autre, des régions conduites de façon extensive à faible niveau de rendement<sup>5</sup>. Les sciences macroéconomiques en analysent les causes profondes. Celles-ci sont dues à la recherche d'une augmentation de la productivité de la terre et du travail, à celle d'une baisse des coûts de production, à des stratégies de concentration des grands groupes agroalimentaires... et à des choix politiques qui encouragent ces tendances. En un certain sens, on pourrait dire que les instances politiques (comme la politique agricole commune, PAC) pilotent ces évolutions. Mais en étudiant les organisations d'aménagement de l'espace cultivé et les organisations de collecte des produits agricoles, les agronomes ont apporté des éléments d'explication de cette spécialisation. En artificialisant les conditions de production, les premières homogénéisent les milieux, et en structurant la collecte des produits, les secondes homogénéisent les systèmes de culture. Les unes et les autres produisent, en quelque sorte, un changement d'échelle du paysage en le simplifiant.

---

5. C'est un mode d'usage de l'espace qualifié de *land sparing*, dans lequel les régions extensives permettent une meilleure préservation de la biodiversité. Il s'oppose au *land sharing*, qui caractérise des régions d'agricultures diversifiées (Desquilbet *et al.*, 2013).

Les régions agricoles étaient certes déjà spécialisées au début du xx<sup>e</sup> siècle, puisque Hitier (1913) distingue des pays à céréales, à herbages, à cultures industrielles, etc. Mais toutes les régions françaises allient plus ou moins polyculture et élevage, puisque même dans les régions les plus céréalières le recours à la traction animale entraîne une distinction de fait entre les terrains labourables et ceux qui sont laissés en prairie pour nourrir au minimum les animaux de trait<sup>6</sup>. Ainsi, les parcelles où se succèdent des espèces cultivées annuelles ou temporaires bénéficient, dans des proportions variables selon les régions, d'un transfert par le troupeau de ressources organiques (contenant du carbone, de l'azote et du phosphore) venant des prairies permanentes qui, par la présence de légumineuses, fixent de l'azote de l'air. Rotation de cultures diversifiées et association culture-élevage constituent les fondamentaux de l'agronomie pour produire et maintenir les capacités productives du milieu. Mais, dès le milieu des années 1960, la différenciation entre régions s'accroît et les cycles biogéochimiques vont s'en trouver fortement modifiés.

À partir de différentes sources statistiques, Schott *et al.* (2010) nous permettent de suivre, depuis 1970, l'évolution de l'espace cultivé sur l'ensemble du bassin de la Seine, qui recouvre une superficie de 95 000 km<sup>2</sup>. Ils constatent une forte chute des surfaces en prairies naturelles qui se concentrent à l'est (Morvan, Auxois, Ardennes) et au nord-ouest (Basse-Normandie) dans les régions les moins propices à la culture. Les céréales, tout particulièrement le blé tendre, se concentrent au centre, sur plus de la moitié du bassin, jusqu'à atteindre 45 % en Beauce et certaines parties de l'Oise et de la Seine-et-Marne. Dans ces régions les successions se simplifient. Elles sont quelque peu diversifiées entre régions, mais la succession blé-blé augmente de manière importante ainsi que la succession colza-blé-orge, tandis que celles à base de pois et de tournesol, après avoir augmenté, diminuent. Sur une zone plus localisée, la Haute-Normandie, Souchère *et al.* (2003), suivant depuis 1970 l'évolution des cultures et des prairies sous l'effet de la PAC, montrent également une diminution des prairies, mais aussi une diminution des cultures d'hiver au profit de cultures de printemps.

La course aux rendements élevés et à la marge brute incite les producteurs de céréales à avancer les dates de semis et à augmenter les densités; par stratégie d'assurance, les apports d'azote sont calculés sur la base des rendements obtenus les meilleures années (Meynard et Girardin, 1991). Ce forçage de la fertilisation azotée renforce les risques de maladies telluriques et d'adventices dus au raccourcissement des rotations, et les risques de bioagresseurs à dissémination aérienne dus à la concentration des surfaces d'une même culture. La simplification des assolements et des successions de cultures n'aurait pas été possible sans la forte batterie de pesticides, soulignent Schott *et al.* (2010). Un cercle vicieux s'enclenche puisque, avec le temps, apparaissent des résistances des bioagresseurs aux pesticides utilisés. Les résidus de pesticides dans les sols et leurs émissions dans l'air, reconnues comme nocives pour la santé, ont en conséquence augmenté dans les régions de grande culture.

Ainsi se différencient régions céréalières et régions à forte proportion de prairies s'orientant vers des systèmes d'élevage. Ces dernières occupent non seulement la bordure du bassin de la Seine, mais aussi la moyenne montagne et ses pourtours où, la pression productive diminuant, la forêt gagne.

---

6. En 1892, on compte en France 2 800 000 chevaux et 1 400 000 bœufs de trait dont l'alimentation, selon les estimations d'Hervé Bichat, auraient nécessité 6 millions d'hectares de prairies, soit 17 % de la surface agricole utile de l'époque.

Mais il existe d'autres formes d'intensification que celle décrite au cœur du Bassin parisien. En Bretagne, la présence d'une forte population active agricole a permis de développer un élevage fondé sur le recours important aux aliments exogènes, riches en protéines, qui en fait une région d'excédent structurel en nutriments, particulièrement en azote et phosphore. C'est bien ce que montrent Billen *et al.*, (2019). La part du fumier dans l'apport total d'azote aux cultures (figure 3.2A) sépare les régions de grande culture (en particulier le Bassin parisien) des régions d'élevage (Bretagne et Massif central). Parmi ces dernières, la part d'aliments importés (soja, maïs, orge) dans la ration alimentaire des troupeaux (figure 3.2B) distingue bien les régions d'élevage intensif (Bretagne et Pays de la Loire) des régions d'élevage à l'herbe en moyenne montagne.

En définitive, on constate un découplage des cycles du carbone, de l'azote et du phosphore et une homogénéisation des paysages (Recous *et al.*, 2019), résultant de deux formes d'agriculture intensive ayant poussé jusqu'à l'extrême la spécialisation et l'usage d'intrants : engrais et pesticides dans les régions de grande culture, auxquels s'ajoutent aliments concentrés et antibiotiques pour les régions d'élevage hors sol.

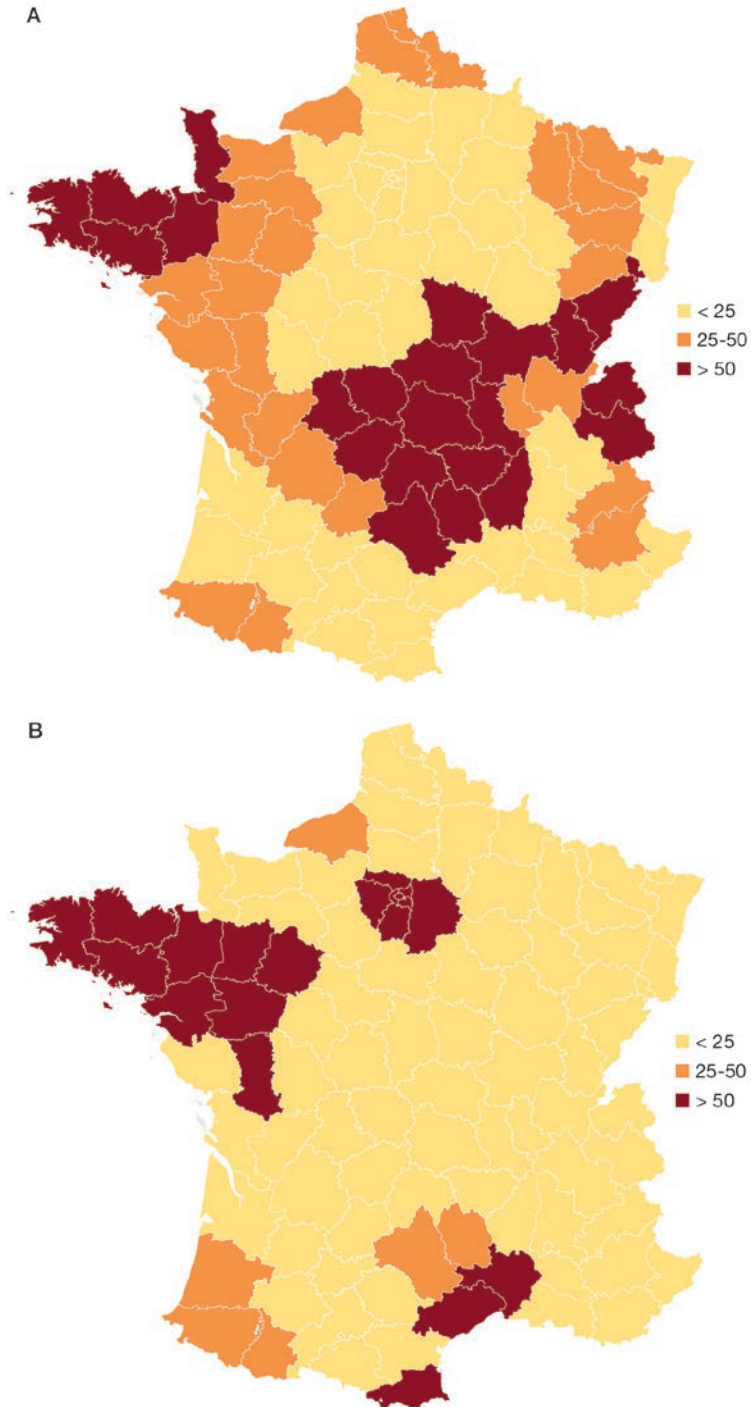
La faible part des légumineuses cultivées dans l'ensemble des agricultures européennes explique en partie ce découplage. On en trouve l'origine tout au début de la PAC. Engagée en 1962, elle a été la principale politique commune<sup>7</sup>. Qu'elle le demeure fait de l'ensemble européen une entité spécifique de décisions consacrées à l'agriculture.

La recherche d'une autosuffisance alimentaire au sein d'un marché unique européen a conduit, au début, à privilégier des systèmes céréaliers en établissant des protections aux frontières. En interne, un prix minimal garanti incitait l'agriculteur à augmenter les rendements. Cependant, en contrepartie de la protection de ses céréales, l'Europe, pour éviter tout contentieux avec les États-Unis, a dû renoncer à imposer des droits de douane aux importations d'oléoprotéagineux<sup>8</sup>. Cette concession a ensuite été obligatoirement étendue aux autres exportateurs, notamment d'Amérique latine. Ce choix politique a contribué à différencier les modes d'intensification régionale décrits ci-dessus. Dans les régions de grande culture, sans légumineuses dans les successions, la culture des céréales a eu recours à une fertilisation azotée massive. À l'échelle de l'Europe, 11 Mt (million de tonnes) d'azote sont apportés par synthèse industrielle contre 1 Mt par symbiose, pour 105 Mt à l'échelle mondiale contre 50 Mt. Dans les régions d'élevage intensif, des importations massives de soja, plus précisément de tourteaux, riches en protéines et peu chers, se sont accrues au détriment de productions qui auraient pu être faites sur place (Magrini *et al.*, 2017).

Certes, à la suite d'un embargo sur le soja de la part des États-Unis, en 1973, des plans protéines ont alors été lancés et, à partir de 1980, la surface en légumineuses à graine a augmenté, comme nous l'avons vu dans le bassin de la Seine. Mais à partir de 1992, à cause de surplus importants, coûteux à stocker, la PAC a radicalement changé. De protectionnistes qu'ils étaient, les responsables de la politique européenne ont cherché à mettre les agriculteurs au contact direct des signaux du marché. Le soutien de prix garantis diminue progressivement, compensé, pour maintenir les revenus, par des aides qui doivent être découplées en sorte que les choix de production ne dépendent

7. En 1969, le budget de la PAC représentait près de 80% du budget de la Communauté économique européenne.

8. Durant le Dillon Round (1961-1962) et le Kennedy Round (1963-1967).



**Figure 3.2.** Spécialisation des régions agricoles en France métropolitaine. (A) Part du fumier dans l'apport total d'azote aux cultures. (B) Part d'aliments importés dans la ration alimentaire des troupeaux (d'après Billen *et al.*, 2019).



que du marché international. Dès lors, les aides accordées aux légumineuses, depuis 1980, vont devenir plus faibles, et elles ne suffisent plus à combler les différences de compétitivité avec d'autres espèces comme le soja importé par les fabricants d'aliments du bétail; les surfaces qui leur sont consacrées vont à nouveau chuter (Magrini *et al.*, 2017). Le découplage prévu dans les accords internationaux ne va se faire que progressivement et ne sera quasi total qu'en 2007 (Fosse *et al.*, 2019). En attendant, diminuant chaque année, des aides sont accordées pour certaines des cultures pratiquées. Et, dès 1994, les surfaces en maïs fourrage sont éligibles aux aides à l'hectare, encourageant ainsi le système d'affouragement associant tourteau de soja à maïs ensilage qui, dans les régions d'élevage laitier, a contribué à la diminution des prairies permanentes.

Pour compléter l'analyse du poids des politiques sur les différenciations régionales, il faut rajouter que dans les régions mal loties en ressources productives (montagne et, hors montagne, régions défavorisées par la nature des sols, la pente, le climat, etc.), où domine souvent la prairie naturelle, la PAC a prévu, dès 1976, une indemnité compensatoire au handicap naturel (ICHN). L'objectif de cette politique est de maintenir un maillage d'actifs agricoles et une présence humaine dans ces territoires, pour éviter l'abandon des terres et leurs conséquences négatives sur le paysage, le recrû forestier, le risque d'incendie, etc. Sans doute derrière cette mesure existe l'idée que ces agriculteurs sont utiles à la société, mais leur rémunération est fondée non sur l'idée d'un service rendu, que l'économie ne saurait chiffrer, mais sur un manque à gagner pour corriger les différences de revenus entre les exploitations de ces régions et les autres. Les critères d'attribution de cette ICHN, à laquelle est consacrée une part importante de ce qui est appelé maintenant le « second pilier », sont actuellement en cours d'harmonisation entre les différents États.

## ► Problèmes d'échelle et de couplage entre fonctions productive et environnementale de l'agriculture

En France, on peut dater du milieu des années 1970 les premières prises de conscience par les agronomes des enjeux environnementaux qui se sont révélés au cours de l'évolution de l'agriculture. Dès 1974, Hébert, après avoir mis au point, en 1970, une méthode d'automatisation de la mesure des nitrates par colorimétrie, émet des recommandations aux agriculteurs pour éviter la tentation de surfertiliser les plantes en azote. À la même époque, Chrétien *et al.* (1974) mettent en évidence une brusque augmentation des teneurs en nitrates de 24 captages du département de l'Yonne, qu'ils attribuent à la fois à une augmentation de la fertilisation azotée et à l'accroissement des surfaces laissées nues en hiver, à la suite de retournements de prairies. Ces constats sont suffisamment généraux, en France, pour qu'en 1979 les ministères de l'Agriculture et de l'Environnement commandent à Hénin un rapport sur l'état de la situation. Faisant un bilan de l'azote au niveau de l'ensemble du territoire français métropolitain, découpé en grands bassins, Hénin (1980a) met en évidence l'existence de pertes d'ammoniac par émissions gazeuses et de nitrate par accumulation dans les aquifères. C'est le début d'une prise en compte des impacts environnementaux des agricultures intensives. Les agronomes vont vite être incités à changer d'échelle d'investigation pour tenir compte de processus qui se développent dans leur continuité spatiale. C'est ce que nous allons présenter maintenant en analysant des processus liés aux mouvements de l'eau, de particules terreuses, d'organismes vivants et de gaz dans l'atmosphère.

## Nouveaux problèmes d'échelle : les impacts environnementaux des agricultures intensives

Pour aborder ces nouveaux problèmes, des collaborations ont été nécessaires avec des disciplines de l'environnement (hydrologie, pédologie, géologie, géomorphologie, écologie, climatologie, etc.), au sein desquelles les agronomes ont cherché à remonter des impacts aux causes liées aux pratiques culturales et aux aménagements réalisés dans l'espace cultivé. Ces collaborations se poursuivent encore tant sont multiples et complexes les interactions en jeu dans les processus naturels (chapitre 4).

### Les aquifères et bassins-versants, lieux de circulation des flux hydriques

#### La qualité de l'eau

Par nature, les processus liés à la circulation de l'eau sont contenus dans le périmètre géographique de bassins d'alimentation d'aquifères souterrains (captés par des sources) ou de bassins-versants de rivières alimentant les nappes alluviales peu profondes (captées par des puits) (Benoît et Papy, 1997). C'est au sein de ces deux types d'entités géomorphologiques qu'après avoir analysé les processus liés aux flux hydriques, il est possible d'étudier la contribution des parcelles à la fourniture de polluants de l'eau dans les sources et les puits, mais aussi dans les milieux aquatiques continentaux ou littoraux. Certains de ces polluants sont solubles (les nitrates en particulier, mais aussi la plupart des pesticides); d'autres, fixés au sol (le phosphore en particulier), ne circulent qu'à l'issue d'un processus érosif.

Les bassins d'alimentation d'aquifères donnent lieu à des circulations à dominante verticale. Les phénomènes d'entraînement sont relativement aisés à modéliser en agrégeant, sur l'ensemble de l'aire délimitée, les modèles de lixiviation des molécules dans les différents couverts végétaux et en les pondérant par la surface occupée par chacun d'eux (Gaury et Benoît, 1993; Mary *et al.*, 1997). Dans le bassin des eaux minérales de Vittel, la contribution en nitrates de chaque type de couvert, mesurée par un dispositif de bougies poreuses au-dessous de la profondeur d'enracinement des couverts, fait état d'une forte variabilité, avec des valeurs moyennes de 2 mg/l sous forêt, de 46 mg/l sous blé et de 126 mg/l sous maïs fourrage. Selon la nature des couches géologiques traversées, la circulation est plus ou moins rapide. Elle est rapide dans les impluviums des sources de Vittel, en raison de couches géologiques largement fissurées; et la réponse aux changements de pratiques y est rapide (Deffontaines et Brossier, 1997). Elle est, au contraire, très lente en Champagne crayeuse, où Vachier et Dever, en 1990, estimaient que les changements de pratiques de fertilisation azotée ne se feraient sentir dans l'aquifère qu'au bout de quarante ans.

Dans les bassins-versants, comme ceux des Côtes-d'Armor (Gascuel *et al.*, 2015), où la topographie n'est plus plane, on a dans la zone saturée un écoulement de subsurface qui entraîne les éléments lixiviés vers les cours d'eau. Ces écoulements sont stratifiés au sein de la nappe avec des zones ici de concentration et là de dilution, et donc difficiles à modéliser et à mettre en relation avec les contributions de chaque parcelle (Ruiz *et al.*, 2015).

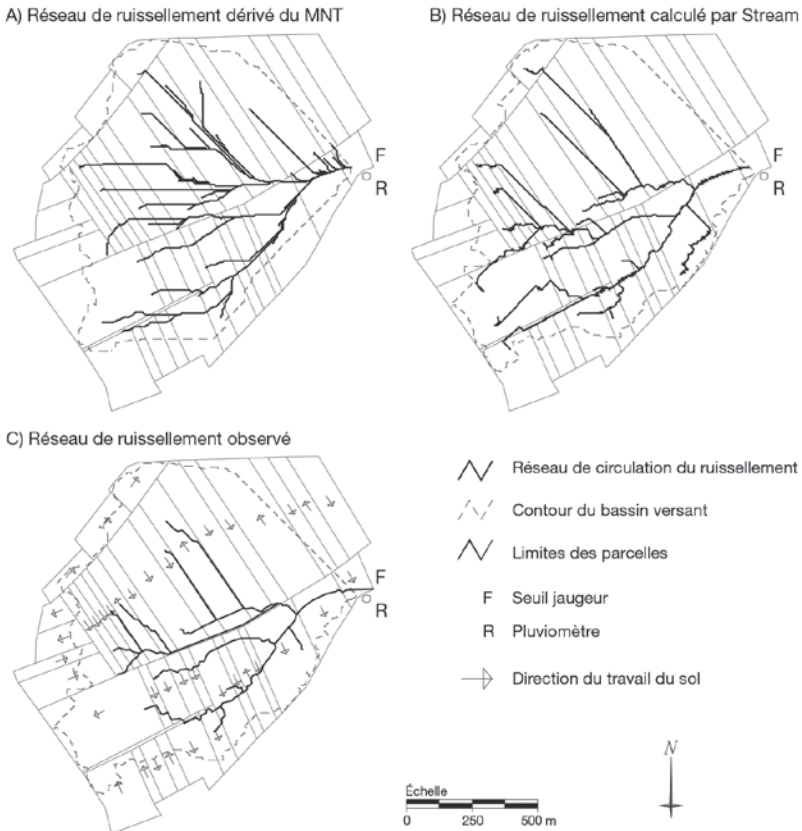
C'est aussi à l'échelle des bassins-versants que sont analysés les transferts de phosphore vers les milieux aquatiques continentaux ou côtiers, qui causent des surcharges en nutriments et entraînent des phénomènes d'eutrophisation se traduisant par la prolifération de macroalgues. À l'origine des transferts, la mise en mouvement du phosphore est due à des processus d'érosion et de ruissellement. C'est le cas également de la chlordécone, pesticide peu soluble utilisé dans les bassins de production bananiers aux Antilles dans les années 1980, qui génère aujourd'hui une pollution chronique persistante des terres, de l'eau et des milieux côtiers.

### L'érosion des sols

Un ruissellement de surface apparaît sur des versants soit parce que la zone saturée affleure, soit par un phénomène d'imperméabilisation des horizons superficiels. Ce dernier phénomène se manifeste même sous de faibles intensités pluviométriques dans les sols limoneux, mais demande des intensités plus fortes dans des sols plus argileux. Selon la morphologie, la nature du sol, l'organisation du parcellaire, les pratiques agricoles et le régime climatique, il est possible de distinguer plusieurs systèmes érosifs. Dans le système d'érosion diffuse, le détachement des particules dans les parcelles agricoles est dû à l'impact des gouttes de pluie sur les agrégats de sol, tandis que le ruissellement est capable de transporter les particules arrachées sans initier d'incision (Le Bissonnais et Martin, 2004). Le processus se complexifie lorsque la pente de la parcelle est suffisamment forte pour donner au ruissellement la force d'inciser le sol selon les lignes de moindre résistance du haut vers le bas du versant en rigoles parallèles. On a alors un système érosif de versant en rigoles et interrigoles qui associe deux mécanismes : le détachement (par érosion diffuse et érosion linéaire) et le transport (par ruissellement dans les rigoles et interrigoles). Longtemps ces deux systèmes érosifs ont été les seuls étudiés par les agronomes parce qu'il était relativement facile, par expérimentation, d'établir des relations entre pratiques, états de surface et quantité de terre déplacée. Aussi ces systèmes érosifs peuvent-ils être régulés à l'échelle parcellaire par des pratiques culturales ou des aménagements pour couper la longueur de pente.

Signe de la difficulté des agronomes à sortir de la parcelle, ce n'est qu'au cours des années 1980, tant aux États-Unis (Spomer et Hjelmfelt, 1986) qu'en France (Boiffin *et al.*, 1988), qu'est étudié un système érosif qui ne s'inscrit pas dans un découpage parcellaire, mais dans la morphologie du petit bassin-versant, en régime non permanent, qui inclut le plus souvent plusieurs parcelles. C'est le système érosif par concentration du ruissellement, dans lequel on distingue plusieurs zones fonctionnelles : l'impluvium, des chemins d'eau, le talweg incisé et une zone d'atterrissage; des zones tampons peuvent ralentir le flux érosif. L'étude de ce type de processus n'a été rendue possible que par un progrès méthodologique consistant à faire de la modélisation paysagère (chapitre 2). Cette dernière permet d'inscrire des processus spatio-temporels sur des patrons paysagers et de tester l'effet d'autres patrons sur les processus (Poggi *et al.*, 2018). Ainsi, les agronomes ont modélisé l'évolution au cours de l'année des états de surface du sol des parcelles pour prévoir les périodes de sensibilité au ruissellement (Boiffin *et al.*, 1988). Cependant, pour modéliser le processus érosif à l'échelle du bassin-versant élémentaire, il faut tenir compte des contours des parcelles et du sens des travaux du sol qui déterminent les chemins d'eau (Souchère, 1995; figure 3.3). Le potentiel de ruissellement dépend des rapports entre zones fonctionnelles, que l'on peut évaluer au moyen de la télédétection et de systèmes d'information géographique (Blanchard *et al.*, 1999).

Dans le cas du pays de Caux, qui est une région agricole homogène par sa géomorphologie et les systèmes de culture qui y sont pratiqués, une modélisation des conditions du déclenchement du ruissellement érosif a permis de prévoir l'occurrence des crues turbides hivernales qui se produisent au-delà d'un seuil pluviométrique (Papy et Douyer, 1991). Mais pour les crues turbides de printemps et d'été, survenant à la suite d'orages violents, l'intensité pluviométrique dépasse les capacités d'infiltration quels que soient les états de surface, exception faite souvent des couverts permanents. L'organisation morphologique devient alors la variable déterminante (Douvinet et Delahaye, 2010). Certaines situations morphologiques donnent les plus forts risques de crues turbides sous l'action d'orages. On sait ainsi sur quels bassins-versants élémentaires il est le plus utile de faire porter les efforts de réduction du ruissellement érosif. Dans ce système érosif, où il faut traiter de façon différenciée les différentes zones fonctionnelles au sein d'un bassin-versant élémentaire et les différents bassins-versants, la mise en œuvre de mesures anti-érosives cohérentes est délicate en raison de la discordance fréquente entre les limites naturelles et celles des parcelles et des exploitations agricoles.



**Figure 3.3.** Réseau de circulation du ruissellement dans un bassin-versant en régime non permanent : (A) selon la pente d'après un modèle numérique de terrain (MNT); (B) selon un modèle tenant compte du parcellaire et du sens des travaux (Stream); (C) selon les observations de terrain (Ludwig *et al.*, 2004).

Noter que B est plus proche de C que A.

## Les unités paysagères, lieu des continuités écologiques

La perception par les agronomes des impacts de l'agriculture sur la biodiversité est venue tard, après la Convention mondiale pour la biodiversité de Rio en 1992. Elle a nécessité une collaboration poussée entre écologues et agronomes pour aborder les processus complexes d'interrelation des populations entre elles et avec leur milieu de vie (chapitre 4). En remontant de l'évolution de la biodiversité aux pratiques agricoles, deux caractéristiques majeures de ces dernières apparaissent déterminantes. Tout d'abord, l'usage des intrants et plus particulièrement des pesticides qui, outre leur effet sur les bioagresseurs des espèces cultivées, affectent d'autres populations directement ou indirectement en perturbant la chaîne alimentaire. Mais aussi le paysage, car, en se modifiant, il modifie, pour un grand nombre d'espèces, les diverses ressources qui leur sont nécessaires pour se nourrir, se protéger et se reproduire (Burel *et al.*, 2019).

L'analyse des effets du paysage a été progressive. Le paysage a tout d'abord été étudié par les écologues, dans les années 1980 et 1990, qui se sont centrés sur les éléments semi-naturels, sous-entendant que c'est là que se concentrait la biodiversité, tandis que la matrice agricole (les parcelles de culture) lui était hostile. Ainsi, il ne pouvait y avoir de continuités écologiques que grâce à des corridors entre îlots de biodiversité, fragmentés par la modernisation agricole. C'est ce qui a été appelé la « trame verte »<sup>9</sup>. Ce n'est que depuis le début des années 2000 que, prenant en compte l'ensemble du paysage agricole, tel que décrit par les unités agrophysionomiques, l'hétérogénéité de la mosaïque agricole est également apparue comme un facteur clé de la biodiversité (Aviron *et al.*, 2019). On peut distinguer au sein de ces unités paysagères, comme le font Burel *et al.* (2019), l'hétérogénéité de composition (existant entre les parcelles de la matrice, due à la nature des cultures) de l'hétérogénéité de configuration – due à la forme et à la taille des parcelles, à la structure des éléments semi-naturels qui les délimitent (haies, fossés, talus, etc.) ou qu'elles enserrent (bosquet). Comme ces deux dimensions de l'hétérogénéité du paysage sont partiellement liées entre elles au sein des unités paysagères, on ne peut en étudier toutes les combinaisons. C'est donc en comparant des unités paysagères se différenciant par des combinaisons de critères d'hétérogénéité que les écologues et les agronomes étudient les effets sur les populations des continuités écologiques (Burel *et al.*, 1998). Et c'est également sur des unités paysagères fictives, mais représentatives de paysages réels, que sont élaborés des modèles de fonctionnement d'agroécosystèmes spécifiques d'un problème de maintien de la biodiversité.

Au-delà des hétérogénéités de composition et de configuration, toutes deux identifiables par des caractéristiques visuelles, il faut rajouter une hétérogénéité importante, celle due aux itinéraires techniques appliqués aux différentes parcelles et notamment à l'usage de pesticides. Comme le font remarquer Aviron *et al.* (2019), il est bien souvent nécessaire d'en tenir compte pour comprendre comment la mosaïque peut favoriser ou non le développement et le déplacement d'auxiliaires (Vasseur *et al.*, 2013). De ce point de vue, pour analyser les perturbations d'habitats en lien avec l'usage de pesticides et de fertilisants, il peut être utile de comparer des paysages où les surfaces occupées par de l'agriculture conventionnelle et de l'agriculture biologique sont très différentes (Aviron *et al.*, 2019).

---

9. Son pendant dans les milieux aqueux est la trame bleue.

Ainsi, de nombreuses études, réalisées à plusieurs échelles, expliquent pourquoi l'utilisation intensive d'intrants et la simplification des paysages caractérisant l'agriculture ont des effets néfastes sur la biodiversité. Elles incitent à inscrire les agroécosystèmes de l'échelle parcellaire, d'où sont récoltés les produits agricoles, dans des agroécosystèmes plus complexes, se définissant à l'échelle d'unités paysagères, où il est possible de piloter des espèces en interaction entre elles et leur milieu (Doré, 2011 ; chapitre 4).

## Des parcelles à la planète, lieux de la continuité des échanges gazeux entre les espaces cultivés et l'atmosphère

Comparés aux flux d'eau, les flux aériens sont plus complexes : les émissions de gaz par l'espace cultivé, le plus souvent diffuses, de faibles intensités par unité de surface et variables dans le temps, sont difficiles à mesurer, et les mouvements d'air, souvent turbulents, difficiles à modéliser. Il convient de bien distinguer deux catégories de phénomènes, non pas tant sur les processus d'émission de gaz que sur les dimensions spatiales et temporelles de leurs impacts. Certains gaz – l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), les produits phytopharmaceutiques (PPP), les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), les composés organiques volatils (COV), les particules fines – ont des effets dont la durée peut varier de quelques heures (pic de pollution) à quelques années sur des distances variant de quelques centaines de mètres à plusieurs centaines de kilomètres. D'autres, se répandant dans toute l'atmosphère jusqu'à atteindre la stratosphère, participent, avec les émissions provenant d'autres activités humaines, à l'augmentation de l'effet de serre qui se traduit par le dérèglement général du climat. Il s'agit du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) résultant de l'utilisation d'énergie fossile et de la minéralisation de la matière organique, mais surtout de deux autres gaz, spécifiques des émissions agricoles : le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ), ayant comme cause première la fertilisation azotée, et le méthane ( $\text{CH}_4$ ), provenant principalement de la fermentation entérique des ruminants, mais aussi de la riziculture inondée. Ces deux derniers, ayant des durées de vie différentes et n'ayant pas le même pouvoir réchauffant que le  $\text{CO}_2$ , sont convertis en équivalent  $\text{CO}_2$ <sup>10</sup>. Les impacts de ces gaz à effet de serre (GES) se manifestent sur plusieurs décennies, voire plusieurs siècles, et ont une portée à l'échelle de la planète. Distinguons donc ces deux catégories d'émissions.

### La qualité de l'air ambiant

Comme l'indiquent Générmont *et al.* (2019), alors qu'avant 1990 les émissions d'ammoniac étaient étudiées pour les pertes en azote lors des épandages de lisier (signe d'une préoccupation de perte de rendement), elles sont, depuis, devenues une question emblématique des pollutions agricoles, en particulier par l'élevage. Ces émissions, dangereuses pour la santé, proviennent à 95 % des bâtiments d'élevage et de l'application sur les parcelles d'engrais minéraux et organiques (lisiers, fumiers, composts). Les travaux sur le  $\text{NH}_3$  ont permis de modéliser l'ensemble du processus allant des émissions au transport, à la dispersion et aux transformations jusqu'aux dépôts. Ils ont servi pour d'autres gaz étudiés depuis, comme les  $\text{NO}_x$ , mais aussi pour

---

10.  $\text{N}_2\text{O}$  et  $\text{CH}_4$  ont tous deux un fort potentiel de réchauffement global en équivalent  $\text{CO}_2$  (noté eq  $\text{CO}_2$ ); calculé sur 100 ans, il est respectivement de 310 et 21 eq  $\text{CO}_2$  selon les calculs du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) en 1995. Mais le premier a une durée de vie de 150 ans et le second de 12 ans.

les PPP, en suspension dans l'air. Plus tard, après 2015, ont été étudiés les COV provenant des cultures et des élevages, notamment en bâtiments, et la production chimique d'aérosols à partir de composés gazeux d'origine agricole comme les  $\text{NO}_x$ , le  $\text{NH}_3$  et les COV. Toutes ces émissions gazeuses sont dangereuses pour la santé. L'exposition à de très fortes concentrations d'ammoniac provoque des irritations, voire des brûlures oculaires et respiratoires. À court terme, les  $\text{NO}_x$  entraînent des irritations et aggravent l'asthme, à long terme, ils causent des maladies respiratoires ou cardiovasculaires.

Les teneurs de l'air en ces différents gaz restent difficiles à prévoir dans un lieu donné. De plus, les impacts de ces polluants qui circulent dans l'air ne dépendent pas que des teneurs, mais aussi du degré d'exposition des humains et des écosystèmes. De gros progrès restent donc à faire sur la contribution de l'agriculture aux émissions de polluants atmosphériques et sur la manière de les réduire.

### Le dérèglement climatique

Les gaz émis par l'agriculture qui créent un effet de serre additionnel contribuent au dérèglement climatique. Mais ces émissions sont partiellement compensées par la photosynthèse qui fixe le carbone dans la biomasse et le sol (Pellerin *et al.*, 2019b). L'effet de serre additionnel dû à l'agriculture, résultant d'un bilan entre émission et fixation du carbone, doit être considéré dans l'ensemble de ce que le GIEC appelle le « secteur des terres »<sup>11</sup>, au sein duquel les différents modes d'occupation ont des capacités fixatrices très différentes. La forêt stocke 80 % du carbone de la biosphère terrestre, avec une nette différence entre forêt tropicale humide et forêt tempérée, qui contiennent respectivement 220 et 80 t C/ha de biomasse, mais aussi 160 et 100 t C/ha dans le premier mètre de sol ; tandis que les champs cultivés en stockent beaucoup moins (6 t C/ha dans la biomasse d'une parcelle de céréale en Île-de-France et 60 t C/ha dans le sol) et que les couverts herbacés ont une position intermédiaire. En France, la forêt piège l'équivalent de 15 % des émissions de  $\text{CO}_2$ .

Le rapport du GIEC, paru en août 2019, estime que le secteur des terres est un puits net de 29 % des émissions totales de GES, ce qui montre le rôle qu'il peut jouer dans l'atténuation du dérèglement climatique. Mais ce secteur émet 23 % du total net des émissions, dont 11 % sont imputables à l'agriculture, principalement à l'élevage des ruminants et à la fertilisation azotée de synthèse, 10 % au changement d'usage des terres, principalement à cause de la déforestation qui se traduit par des émissions de  $\text{CO}_2$ , et 2 % à d'autres causes.

La problématique de l'atténuation du dérèglement climatique a contribué à étendre à l'échelle planétaire l'étude des cycles biogéochimiques et à mettre en évidence les limites qui s'imposent à ce niveau.

### À l'échelle planétaire, la prise en compte des limites

Perçues dès 1972 dans le rapport Meadows, les limites planétaires ont donné lieu depuis à de nombreux indicateurs se traduisant par une série de seuils physiques à ne pas dépasser (Rockström *et al.*, 2009). Ici, retenons-en principalement deux qui relèvent de l'activité agricole :

---

11. Dans son rapport spécial sur les interactions entre climat et terres émergées, paru en août 2019, le GIEC estime que sur ces dernières, 12 % sont cultivées, 37 % sont pâturées (dont 16 % de savanes et zones arbustives et 2 % de prairies intensives) et 31 % sont des forêts (dont 9 % de forêts primaires et 2 % de plantations).

- ne pas augmenter la surface cultivable au détriment des forêts, qui constituent le plus grand puits de carbone du secteur des terres. En totalisant la biomasse (vivante et morte) et le carbone du sol, les écosystèmes forestiers contiennent 860 Gt de carbone, soit l'équivalent de ce qui est contenu dans l'atmosphère. La déforestation (et, dans une beaucoup moindre mesure, le retournement de prairies) libère brutalement du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) dans l'atmosphère, tandis que la fixation de carbone par un nouveau boisement (ou une mise en herbe) est très lente;
- gérer les cycles géochimiques du phosphore et de l'azote, qui conduisent à une dilution du premier dans les océans et à une aggravation très forte du dérèglement climatique pour le second. L'usage des engrais azotés de synthèse, fabriqués par fixation de l'azote atmosphérique, a tellement augmenté depuis 1950, et de façon tout à fait déséquilibrée entre les pays développés du Nord et ceux de l'hémisphère sud que, dès les années 1970, cette fixation a dépassé les capacités de l'ensemble des écosystèmes à dénitrifier suffisamment pour réémettre dans l'atmosphère la même quantité d'azote ( $\text{N}_2$ ) que celle fixée (Galloway et Cowling, 2002).

On retiendra que les différents processus passés en revue ont pour origine les deux tendances, liées entre elles, qui caractérisent les agricultures intensives accompagnant la spécialisation régionale : l'usage massif d'intrants dans les régions de grande culture et d'élevage hors sol (engrais, pesticides, aliments d'origine exogène antibiotiques), et l'homogénéisation des paysages agricoles (peu d'espèces cultivées et de grandes parcelles). La pollution de l'eau, la diminution de la biodiversité, la pollution de l'air, l'effet de serre additionnel, relèvent surtout de la première ; l'érosion des sols (surtout dans le cas du système par concentration du ruissellement) et, à nouveau, la diminution de la biodiversité, de la seconde. Cette analyse laisse entendre que les correctifs à concevoir devront consister à réduire les intrants et diversifier les cultures, mais aussi à articuler entre elles les gestions de processus se déroulant à des échelles différentes : la parcelle pour la production, mais aussi les différentes entités fonctionnelles pour la préservation de l'environnement. Les fondamentaux d'une agronomie, longtemps centrée sur la fonction productive de la parcelle, s'en sont trouvés renouvelés.

## Coupler les fonctions productive et environnementale à de nouvelles échelles de l'agroécosystème

Dès 1992, à Rio, la Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement déclare, dans son Agenda 21, « le caractère multifonctionnel de l'agriculture » afin de promouvoir un développement agricole et rural durable, c'est-à-dire assurant l'alimentation des hommes tout en préservant les ressources naturelles. Mais il a fallu une décennie (de 1992 à 2002) pour que cette « multifonctionnalité », proclamée en haut lieu, finisse par être reconnue comme un objectif à rechercher par les acteurs du monde agricole. La représentation professionnelle agricole dominante, se sentant prisonnière d'injonctions contradictoires, tarde à admettre la légitimité de la fonction environnementale de l'agriculture au détriment de sa fonction productive.

### Vers une nouvelle conception de l'agroécosystème

Les agronomes, quant à eux, n'ont pas attendu les conférences internationales pour commencer à s'attaquer, certes de façon progressive, à cette question de la



multifonctionnalité. Ils commencent en cherchant à diminuer les causes premières des impacts environnementaux et à corriger leurs effets. Deux exemples vont l'illustrer, l'un à l'échelle de la parcelle, l'autre à celui d'un bassin-versant élémentaire.

- Dès le début des années 1990, Meynard et Girardin (1991) expliquent comment, en déconstruisant les stratégies d'assurance qui ont conduit à un suremploi d'intrants, il est possible de concevoir de nouveaux itinéraires techniques moins polluants. Sur le blé, en visant un objectif de rendement plus faible, on diminue le besoin en azote. Les risques de verse et de maladies s'en trouvent réduits. En semant plus tardivement, on réduit les attaques de pucerons, ce qui dispense d'utiliser des insecticides. En utilisant des variétés résistantes aux maladies, on réduit les fongicides. Sans doute les bonnes années le rendement est-il plus faible qu'en culture intensive. Mais, bon an mal an, il est plus régulier, avec, au total, des marges brutes plus fortes. Enfin, pour éviter les fuites d'azote après la récolte, il est préconisé d'implanter, quand c'est possible, des cultures intermédiaires pièges à nitrates (Cipan). Ces nouveaux itinéraires techniques ont plusieurs effets positifs. Ils réduisent les risques de pollution des aquifères et des nappes alluviales, atténuent la perte de biodiversité par la diminution des pesticides, ainsi que le ruissellement érosif par les cultures intermédiaires; ils améliorent la qualité de l'air et l'effet de serre additionnel en réduisant les émissions de  $N_2O$ .

- Un autre exemple illustre comment, remodelant le paysage, il est possible de réduire l'érosion et les coulées boueuses. Ainsi, dans le pays de Caux, qui a vu disparaître les mares dans les talwegs, les prairies sur les sommets, près des habitations et dans les bas-fonds, et dont la taille des parcelles n'a cessé de croître, se développe de l'érosion par ruissellement concentré. Dans les années 1980, une association de lutte contre l'érosion et l'aménagement du sol promeut auprès des agriculteurs des techniques de réduction du ruissellement à la parcelle, mais aussi un réaménagement du paysage (« remembrement hydraulique » et techniques d'aménagement des talwegs par des fascines, retenues d'eau, bandes enherbées, etc.), qui contribuent à réduire les risques.

Ces deux exemples illustrent qu'il est possible de concevoir des solutions permettant d'associer objectifs de production et de préservation de l'environnement par des modifications d'itinéraire technique ou d'aménagement de l'espace cultivé.

Cependant, par un approfondissement de leur relation avec l'écologie fonctionnelle, les agronomes vont aller plus loin dans la mise en concordance des fonctions productive et environnementale que la simple conception d'itinéraires techniques et d'aménagement des terrains pour atténuer les impacts négatifs des pratiques intensives. Ils étendent aux systèmes anthropiques les méthodes et outils de l'écologie ayant fait leurs preuves sur les systèmes naturels. Ils s'inspirent pour cela de l'agroécologie, théorisée aux États-Unis (Altieri, 1985), tout en conservant la dimension de mise en œuvre des techniques par des logiques d'action, qui fait la spécificité de l'agronomie (Aubertot *et al.*, 2016; chapitres 1 et 4). Ayant fait, jusqu'à présent, peu de cas des processus biologiques, traités comme des « boîtes noires » paramétrées par des indicateurs physico-chimiques, ils avaient ignoré les capacités d'autoadaptation évolutive des êtres vivants au milieu et les capacités fonctionnelles de la biodiversité, y compris pour produire (chapitre 4). Au moment où apparaît le concept de services des écosystèmes, dont le Millennium Ecosystem Assessment, en 2005, a tenté d'estimer les valeurs

économiques selon des modes de calcul au demeurant discutables<sup>12</sup>, ils s'en servent pour développer une autre conception de l'agroécosystème (Doré *et al.*, 2011a). L'idée est d'utiliser certains de ces services afin d'en rendre d'autres, et ce en donnant une place importante à la biodiversité (Malézieux, 2012; 2016; Reboud et Malézieux, 2015). La question devient alors : comment mobiliser des services écologiques (disponibilité en eau, fourniture en nutriments à travers les propriétés biotiques et abiotiques du sol, microclimat, auxiliaires contre les bioagresseurs des cultures et pollinisateurs, etc.), et les utiliser pour en tirer à la fois des services marchands de production agricole (aliments, fibres, etc.) et des services non marchands environnementaux (eau épurée, conservation du sol et de la biodiversité, préservation des incendies et qualité des paysages, régulation des échanges gazeux avec l'atmosphère et, particulièrement, atténuation de l'effet de serre additionnel) ?

Dans la conception d'une agriculture agroécologique qui intègre et mobilise les fonctions de la biodiversité, le rôle des agronomes est de relier ces fonctions à deux systèmes techniques : les systèmes de culture et de conduite des surfaces en herbe (qui relèvent de l'échelle de la parcelle), et les aménagements de l'espace cultivé (qui relèvent de l'organisation du parcellaire – taille, orientation –, du maintien d'éléments semi-naturels dans le paysage agricole, arborés éventuellement, de fossés, de bandes enherbées, etc.). Dès lors, les agronomes articulent ces deux catégories de systèmes techniques pour tirer de la diversité biologique des services à la fois productifs et environnementaux.

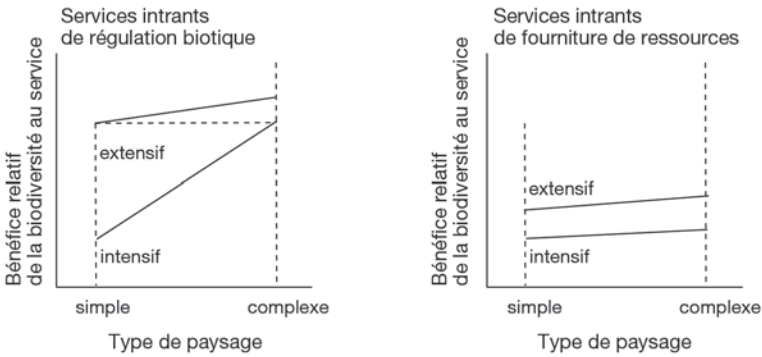
Certes, certains des services liés au maintien de la fertilité du sol, comme la faune et les microorganismes du sol, mais aussi les espèces cultivées introduites pour fixer l'azote comme les légumineuses, sont peu mobiles. On verra dans le chapitre 4, qui développe les collaborations entre agronomes, malherbologues et phytopathologistes, que les adventices et certaines maladies dues à des champignons telluriques, qui ne se dispersent que sur de faibles distances, le sont également. Les uns et les autres sont donc peu sensibles à la structure du paysage. Mais le rendement des cultures dépend aussi de populations mobiles comme les pollinisateurs, qui bénéficient aux espèces maraîchères et arboricoles, mais aussi à des espèces de grande culture comme le tournesol et le colza. Il dépend également de la lutte contre les bioagresseurs qui peuvent se disperser à distance et être régulés par des auxiliaires. Toutes ces populations en cause sont liées à l'organisation spatiale du paysage. La figure 3.4 illustre que les services intrants de fourniture de ressources sont peu sensibles à la complexité du paysage, tandis que les services de régulation biotique le sont beaucoup.

## Agroécosystèmes et enjeux environnementaux

Il résulte de ce qui précède que, pour assurer le couplage entre fonctions productive et environnementale de l'agriculture, il faut passer de la parcelle au paysage (Doré, 2011; Maraun *et al.*, 2013). Le concept d'agroécosystème que les agronomes restreignaient à la parcelle s'applique aussi à des unités paysagères qui incluent une diversité de cultures dans des parcelles qui ne soient pas trop grandes, séparées de linéaires semi-naturels (chapitre 1, figure 1.3), chacun des éléments participant au couplage des fonctions productive et environnementale. Alors que les unités agrophysiologiques

---

12. Elles sont fondées sur le coût des techniques qui pourraient les remplacer et ne peuvent donc s'appliquer aux services sans substitution possible.



**Figure 3.4.** Liens entre usage intensif ou extensif d'intrants chimiques et complexité des paysages pour des services de régulation biotique tels que le contrôle des ravageurs (à gauche), ou des services de fourniture de ressources tels que le maintien de la fertilité des sols (à droite) (Collectif, 2009).

Cette figure illustre que les services rendus, par exemple par des auxiliaires (à gauche), sont sensibles au paysage, tandis que ceux rendus par l'introduction de cultures de légumineuses (à droite) ne le sont pas.

conçues par Deffontaines résultaient des pratiques productives de l'agriculture, ces unités spatiales deviennent des entités à gérer pour faire fonctionner des agroécosystèmes. Elles constituent des projets dans lesquels s'inscrivent de nouveaux systèmes de culture et aménagements paysagers.

Les combinaisons entre systèmes de culture et aménagements à concevoir sont forcément très variées en fonction de la hiérarchie faite, en un lieu donné, par les agriculteurs et les autres acteurs, entre les objectifs de production et les biens environnementaux à préserver prioritairement. C'est ainsi qu'ils doivent être conçus en fonction de leur localisation au sein des aquifères et bassins-versants pour étudier leur possibilité de réguler les flux d'eau et de terre.

Les évolutions suivantes de systèmes de culture sont désormais étudiées : citons entre autres l'allongement des successions de cultures d'espèces aux traits fonctionnels complémentaires, avec introduction de légumineuses pour réduire l'usage d'engrais azotés de synthèse, l'introduction d'espèces adaptées au changement climatique, des itinéraires techniques à bas niveaux d'intrants, des associations d'espèces allant jusqu'à l'agroforesterie, l'introduction d'espèces ayant des fonctions de service (protection du sol, piégeage de l'azote, répulsion des bioagresseurs, attraction des auxiliaires, pollinisation, domination des adventices indésirables, etc.) ou l'établissement de couverts continus pour fixer plus de carbone. Le couplage entre agriculture et élevage (éventuellement par des coordinations entre exploitations ; Moraine, 2015) redevient d'actualité pour mieux valoriser, dans les régions de grande culture, la fixation symbiotique des légumineuses prairiales et, dans les régions d'élevage hors sol, pour offrir des surfaces d'épandage des surplus d'azote et des pailles pour absorber les lisiers.

Les principes d'aménagement de l'espace sont également reconsidérés : le dimensionnement des parcelles qui, en grande culture, sont souvent trop grandes pour assurer une continuité écologique d'habitats pour des auxiliaires au cours des cycles culturaux ; l'orientation des parcelles par rapport à la pente pour réguler les flux érosifs ;

la structuration des milieux semi-naturels en bordure de champ, éventuellement arborés; la création de fossés pour réguler les flux hydriques et l'installation de bandes enherbées pour intercepter des pollutions, entretenir la biodiversité, etc.

Pour prendre un exemple de continuum entre échelles, les principes agroécologiques s'appliquant aux systèmes de culture et aux aménagements paysagers permettent de traiter les problèmes environnementaux aux échelles locales, mais aussi la question du dérèglement climatique à l'échelle planétaire. Il est possible en effet en les mettant en œuvre d'atténuer le dérèglement climatique et de s'adapter à ses effets (Tittonel, 2015; Debaeke *et al.*, 2017).

- Dans les régions de grande culture des pays du Nord, l'atténuation peut être obtenue par la réduction de la fertilisation azotée de synthèse, et par l'introduction de légumineuses à graines dans la rotation et de légumineuses fourragères dans les prairies (Pellerin *et al.*, 2015). Tandis que dans les régions d'élevage intensif à base de compléments azotés, elle nécessite de renoncer aux importations de soja. Dans les pays du Sud, c'est la déforestation qui doit être évitée. En effet, comme les agricultures traditionnelles, de beaucoup les plus nombreuses, produisent peu, des bilans territoriaux d'énergie et GES concluent à la nécessité d'augmenter les rendements plutôt que de cultiver des terres conquises sur la forêt (Riedacker, 2008). Aussi ne faut-il pas craindre d'utiliser des fertilisants de synthèse dans les cas où leur efficacité marginale est indéniable et où les bilans minéraux sont déficitaires, comme c'est souvent le cas en Afrique tropicale (Maraux *et al.*, 2013).

- Au Nord comme au Sud, c'est en cultivant la biodiversité que les agricultures pourront s'adapter aux aléas climatiques de plus en plus forts. Mais, tandis que les agricultures du Nord devront renforcer la diversification des agroécosystèmes, celles du Sud devront conserver la leur (Malézieux et Moustier, 2005). L'adaptation au dérèglement climatique suppose dans tous les cas le développement rapide de cultivars qui soient non seulement résistants à la sécheresse et à la chaleur, mais qui résistent à de nombreux bioagresseurs et recouvrent vite le sol pour économiser l'eau et réduire la population d'adventices (Debaeke *et al.*, 2017).

La mise en œuvre d'agroécosystèmes par les agriculteurs demande de leur part un changement important dans leur mode de pensée et de gestion des systèmes techniques. Les deux chapitres suivants montreront comment les agronomes peuvent les y aider. Pour en rester aux problèmes d'échelle permettant d'assurer le couplage entre fonctions productive et environnementale, demandons-nous maintenant comment différents niveaux d'organisations peuvent accompagner la transition agroécologique. Celles conçues pour aider l'agriculture dans sa fonction productive vont-elles pouvoir l'accompagner dans ses fonctions environnementales? De nouvelles organisations apparaissent-elles? Ce sont là des questions auxquelles les agronomes ont dû s'atteler.

## Coupler la qualité sanitaire des produits et l'environnement dans la mise en œuvre des agroécosystèmes

Un élément nouveau va modifier la donne : l'idée qu'à la crise environnementale est fortement liée une crise sanitaire. D'une part, parce que la qualité de l'air et de l'eau affecte directement la santé humaine (on parle alors de santé environnementale) et que, plus indirectement comme on vient récemment d'en prendre conscience, le

développement des zoonoses a fortement augmenté depuis la moitié du siècle dernier. D'autre part, parce que des pathologies graves comme le diabète et l'obésité, qui sont des maladies métaboliques, directement liées aux régimes alimentaires, se développent dans la plupart des pays. Ainsi les liaisons qui peuvent être faites entre les états des écosystèmes aux échelles locale et planétaire et la santé humaine ont conduit au concept d'« une seule santé » (*One Health* en anglais) (Duru et Théron, 2019; Duru et Le Bras, 2020). Crise environnementale et crise sanitaire se trouvent intimement liées. C'est pourquoi la recherche de systèmes de culture et d'aménagements de l'espace créant des agroécosystèmes qui produisent tout en préservant l'environnement doit être associée à la recherche de régimes alimentaires assurant une bonne santé humaine. Aussi doit-on se demander pourquoi ce lien n'avait pas été fait jusqu'à présent.

Après-guerre, pour sécuriser l'approvisionnement, la politique agricole était essentiellement centrée sur le volume de l'offre. Une fois l'approvisionnement assuré, l'offre a été orientée vers l'exportation. Et, en 1992, Malassis dénonçait une absence de politique alimentaire à l'échelle européenne (Bonney et Brand, 2014). Une gestion de l'offre, laissant de côté la demande de qualité, a conduit à des politiques incomplètes. Alors que la fonction environnementale de l'agriculture est désormais devenue un enjeu incontournable pour la société, n'est-il pas temps de voir comment y joindre la qualité alimentaire comme un enjeu essentiel? Et n'est-il pas possible de concevoir un système agroalimentaire soutenable en ce sens qu'il préserverait à la fois les ressources naturelles et la santé humaine? Cette question a pris de l'ampleur au cours des dernières décennies.

## L'apport des agronomes à la conception de systèmes agroalimentaires soutenables

Le développement du concept de système alimentaire modifie la manière de concevoir les systèmes agricoles. Des recherches pluridisciplinaires, avec des diététiciens, sont ainsi en cours pour étudier les possibilités de coupler préservation des ressources et qualité sanitaire des produits agricoles. Du point de vue qualitatif, ces études montrent que le régime alimentaire de type occidental n'est bon ni pour la santé ni pour la planète (Duru et Le Bras, 2020). Il se caractérise par une insuffisance de fibres (nécessaires au bon fonctionnement du microbiote intestinal), due à la réduction de consommation de légumineuses depuis le milieu du xx<sup>e</sup> siècle au profit des protéines animales, et à l'insuffisance d'oméga 3, dû au changement d'alimentation des ruminants, l'herbe ayant été remplacée par l'association maïs-soja. Le taux de protéines animales/protéines végétales doit donc être diminué et la préférence doit être donnée aux ruminants nourris à l'herbe. Le développement des légumineuses à graines, dont on sait l'intérêt environnemental, permettrait de corriger ce taux et, en même temps, d'accroître la sécurité alimentaire en Asie et en Afrique subsaharienne (Meynard *et al.*, 2017).

Du point de vue quantitatif, on sait que les systèmes agroécologiques ont des rendements inférieurs aux systèmes conventionnels intensifs. Aussi différents scénarios ont-ils été testés pour savoir si la mise en œuvre de principes agroécologiques permettrait de nourrir les populations prévues en 2050. Que ce soit à l'échelle mondiale (Paillard *et al.*, 2010; Mora *et al.*, 2020), de l'Europe (Poux et Aubert, 2018) ou de la France (Solagro, 2014), il apparaît que ça n'est possible qu'à la condition d'associer à une forte réduction du gaspillage un rééquilibrage des régimes alimentaires entre carnés

et végétariens et une sécurisation des échanges internationaux des produits agricoles. On voit ainsi les possibilités de mettre en synergie les fonctions environnementale et d'alimentation saine de l'agriculture.

Cependant, établis de façon globale, ces scénarios n'abordent pas la question que nous avons soulevée plus haut, à savoir la spécialisation très poussée des régions due à une économie agroalimentaire mondialisée visant essentiellement la production. On trouve très clairement présenté cet aspect spatial de la question dans Billen *et al.* (2019). Ces auteurs montrent d'abord que, tant aux échelles nationales qu'internationales, la déconnexion entre production et consommation tient principalement à deux causes : la spécialisation régionale de l'agriculture et l'urbanisation. Les deux éloignent le producteur spécialisé du consommateur qui, lui, recherche une certaine diversité alimentaire qui n'est assurée qu'en allant la chercher au loin. Du coup, l'expression d'une demande alimentaire variée venant des villes devrait pouvoir aller de pair avec une diversification locale des productions agricoles. Mais comment et jusqu'où est-il possible de concevoir des systèmes agroalimentaires localisés assurant un certain niveau d'autosuffisance ? Billen *et al.* (2019) font remarquer que la disparité d'autosuffisance alimentaire n'a cessé d'augmenter depuis 1950, tant entre régions en Europe qu'entre macrorégions dans le monde. Dans la diversité des contextes entre pays aux potentialités agricoles et à la démographie très différentes, se posent alors des questions d'arbitrage entre la recherche d'un certain niveau d'autonomie alimentaire locale et une politique alimentaire mondialisée. Pour améliorer l'autonomie locale, ces auteurs montrent qu'il serait possible d'obtenir à l'échelle mondiale la même production agricole en réduisant très fortement la fertilisation azotée (jusqu'à 40 %), à condition de rééquilibrer les apports de fertilisation azotée de synthèse, à l'échelle mondiale entre macrorégions comme au sein de chaque pays. Cela réduirait les pollutions azotées locales et permettrait d'atténuer le dérèglement climatique. À ce réajustement des ressources fertilisantes devrait s'ajouter un recyclage à l'échelle locale des éléments fertilisants par un couplage entre système de culture et d'élevage. Enfin, en reconsidérant la composition des régimes alimentaires, Billen *et al.* (2019) estiment qu'un régime constitué d'un taux de 35 à 40 % de protéines animales, reconnu comme diététique (contre 62 % en 2010 en France), pourrait, en 2050, à la fois être fourni à toute l'humanité et être produit de façon relativement bien localisée dans les différentes régions du monde.

On voit donc qu'il est possible de trouver dans des agroécosystèmes bien conçus la possibilité de mettre en synergie des objectifs environnementaux et la fourniture pour tous de régimes alimentaires sains. Mais la recherche de solutions innovantes pour assurer cette jonction entre fonctions environnementale et alimentaire de l'agriculture ne peut se faire indépendamment d'une question d'échelle. C'est là que se situe le cœur du problème que doivent aborder maintenant les agronomes. C'est à l'échelle locale qu'il est le plus pertinent de rechercher de bonnes connexions entre production et consommation, fondées, pour être durables, sur un choix de cultures diversifiées et de modes de conduite agroécologique de ces dernières, sur une gestion fine des flux de nutriments et la préservation de la biodiversité. C'est dans ce sens que sont entreprises des recherches pour réassocier localement à des systèmes de culture des systèmes à base de prairies là où elles ont disparu. Ces dernières permettent de coupler les cycles du carbone et de l'azote au sein de la végétation, de la matière organique et de la biomasse microbienne du sol (Lemaire *et al.*, 2014), et d'entretenir un niveau élevé

de biodiversité. Dans une démarche de conception innovante participative (Moraine, 2015; chapitres 4 et 5), des recherches ont été entreprises pour étudier les différents types d'organisations sociales susceptibles de coupler culture et élevage. Leterme *et al.* (2019) font la synthèse d'un programme européen qui a porté sur l'étude de 24 cas où a été recherchée l'intégration entre systèmes spécialisés en culture et élevage. Plusieurs types de modes d'intégration ont été distingués en fonction des synergies existant entre trois pôles : les cultures, les animaux et les prairies. Certains d'entre eux visant l'autonomie produisent l'alimentation des animaux dans le système intégrateur et recyclent les effluents. Ils suivent les principes d'une économie circulaire.

Il est clair cependant que ces recherches d'accompagnement d'acteurs locaux ne peuvent pas résoudre tous les problèmes et qu'il faut aborder des échelles supérieures. C'est pourquoi nous allons examiner les possibilités pour les organisations de mettre en œuvre, à différentes échelles, des systèmes agroalimentaires soutenables.

## Aux échelles locales, la gestion des filières et des collectivités territoriales

De façon plus ou moins directe, les acteurs des filières et des collectivités territoriales sont susceptibles de traduire la « demande sociale » de systèmes agroalimentaires durables. Mais ils ne sont pas *a priori* organisés dans cette finalité. Et il est essentiel pour les agronomes d'analyser les mécanismes de blocage pour imaginer comment les surmonter. Par exemple, analysant, en région de grande culture, la possibilité de diversifier un bassin de production par diverses cultures candidates, Meynard et Messéan (2014) montrent que les acteurs des filières déjà existantes ont développé des stratégies autour de quelques grandes espèces qui verrouillent la possibilité d'en introduire de nouvelles. Le manque de références techniques sur les nouvelles cultures, l'absence d'amélioration génétique, mais aussi la difficulté à dimensionner les équipements au bon ajustement des volumes de production à la demande expliquent ce « verrouillage sociotechnique » (Magrini *et al.*, 2019). C'est de cette façon que l'on peut justifier la suprématie des cultures de céréales sur celles des légumineuses après que ces dernières ont été découragées en Europe par des accords commerciaux dès les années 1960 (Magrini *et al.*, 2017). Mais des obstacles existent aussi dans la mise en œuvre de politiques agroalimentaires qu'essaient de développer des collectivités territoriales. Perrin et Soulard (2014) notent qu'en France les villes n'ont pas, en ce domaine, le même poids politique que leurs homologues anglo-saxonnes ou américaines. Elles n'ont pas de compétences spécifiques pour agir sur l'alimentation, qui relève plutôt de la compétence nationale. Certes, à travers les schémas de cohérence territoriale (SCoT) et les plans locaux d'urbanisme (PLU), les collectivités territoriales ont des compétences sur le zonage des milieux pour arbitrer l'affectation de l'espace et donc la place que peut y prendre l'agriculture. Cependant, comme le font remarquer Boiffin *et al.* (2014), l'agriculture n'y est considérée jusqu'à présent qu'en tant qu'occupant de l'espace et non comme activité productrice d'alimentation. Cependant, les collectivités territoriales ont une responsabilité dans la restauration collective de certains établissements publics (établissements d'enseignement, hôpitaux) qui peuvent être une occasion d'exprimer une demande alimentaire de proximité et de qualité. Mais, par une réglementation européenne d'inspiration libérale, la localité ne peut figurer dans les cahiers des charges soumis à marché public. Darly et Aubry (2014), étudiant des collectivités

territoriales sur un gradient à partir du cœur de Paris, montrent comment (une fois contournée, par des astuces, la clause de localisme dans les marchés publics) sont construites diverses stratégies de restauration collective qui impliquent toutes des coordinations poussées entre groupements d'agriculteurs et organisations de collecte et de cuisine des produits agricoles.

Verrouillage sociotechnique d'un côté, cadrage administratif rigide et réglementation européenne de l'autre, voilà des exemples d'obstacles à dépasser par des innovations. Innovations qui doivent assurer le couplage entre fonctions productive, environnementale et alimentaire et qui, du coup, nécessitent une étroite coopération entre de nombreuses parties prenantes (chapitre 5, «L'innovation ouverte, avec qui et comment?» et «L'accompagnement des dynamiques de transition»). Certaines sont en cours sur l'enrichissement de produits alimentaires en acides gras oméga 3, d'autres sur la fabrication de nouveaux aliments à base de légumineuses combinant plusieurs sources spécifiques de protéines végétales pour en améliorer la qualité nutritionnelle.

La demande de qualité a fait émerger des exigences de garanties et de traçabilité de l'origine des produits. Déjà présentes dans les années 1990, elles n'ont cessé d'augmenter de la part des acteurs de la transformation et de la distribution pour faire remonter auprès des agriculteurs les exigences des consommateurs. Ces dernières ont porté au premier chef sur la qualité des produits, qui apparaît de plus en plus liée aux pratiques phytosanitaires et biotechnologiques (refus en France des OGM), mais aussi aux contaminations biochimiques associées au développement des bioagresseurs (mycotoxines). Dans la mesure où ils sont liés aux objectifs environnementaux<sup>13</sup> sur la qualité de l'eau, de l'air, des sols et de la biodiversité, les objectifs portant sur la qualité des produits marchands peuvent internaliser dans les prix, au moins pour partie, les fonctions environnementales de l'activité agricole. Encore faut-il des dispositifs de garantie s'appuyant sur des référentiels par culture ou par exploitation que les agronomes contribuent à établir (Le Bail *et al.*, 2006). Se multiplient alors des certificats d'assurance qualité dans l'agroalimentaire, avec leurs exigences de traçabilité et de garantie de mise en œuvre de «bonnes pratiques». Pour les acteurs de la filière, la certification devient objet de concurrence (à qui aura la meilleure); pour les consommateurs, un sac d'embrouilles. Législateurs et chercheurs ont tenté de mettre au point des certifications de qualité à portée générale, comme la certification «Haute valeur environnementale» (HVE) à la suite de la loi Grenelle 2<sup>14</sup>. Selon les principes de l'agroécologie de tenir compte de la spécificité locale des fonctionnements des agroécosystèmes, il semble difficile d'établir des règles de certification générales. Par contre, localement, sur le littoral breton où la lutte contre la prolifération des algues vertes est le problème majeur, Gascuel *et al.* (2015) montrent comment est coconstruit entre les chercheurs et les différents acteurs concernés un référentiel de bonnes pratiques agricoles.

Deux labels cependant font exception à ce manque d'efficacité des labels à portée générale : les Indications géographiques et l'Agriculture biologique. Mais ils se différencient nettement. Autour de la notion de terroir, le premier s'appuie sur la spécificité des caractéristiques écologiques d'un milieu duquel il tire la typicité du produit grâce à une organisation qui contient des savoirs et définit des pratiques. Mais n'ayant pas

---

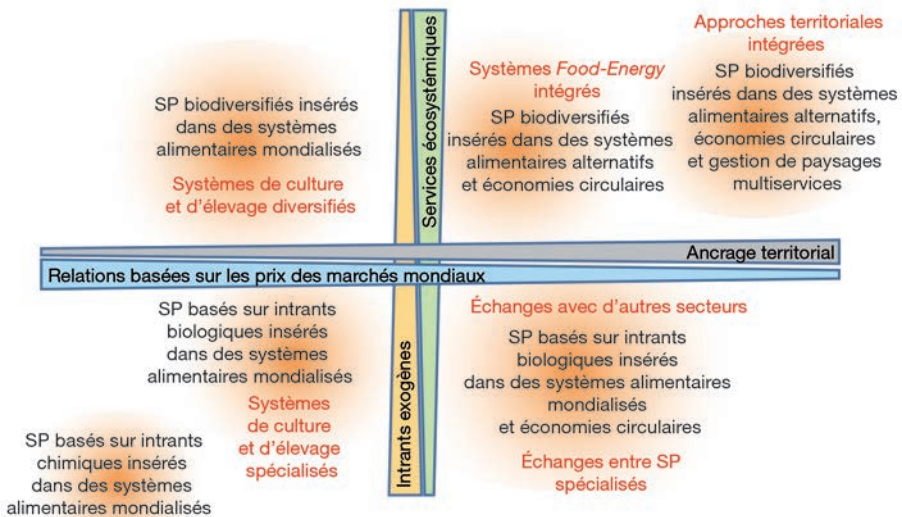
13. Ils ne le sont pas toujours. Par exemple l'objectif d'un taux élevé de protéines dans les blés est contradictoire avec la réduction de fertilisation azotée.

14. Loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement.



développé d'exigence environnementale, il peut couvrir une production agricole polluante. Cela peut être le cas dans les AOC viticoles. Quant au label Agriculture biologique, créé en 1985, il n'est malheureusement pas fondé sur les bases agronomiques de cette agriculture biologique, mais seulement sur l'interdiction d'utiliser des produits issus de la chimie de synthèse. Ainsi, relativement simple à contrôler, il permet d'identifier les produits issus de ce mode d'agriculture et, par une interdiction radicale, obtient la confiance des consommateurs. En résulte l'engouement actuel pour les filières biologiques. Mais comme elles sont limitées à la recherche d'un marché spécifique de niche, un vaste programme de recherche de référentiels localisés de bonnes pratiques agroécologiques reste ouvert.

Ainsi se multiplient des recherches, auxquelles les agronomes participent, d'organisations de filières très diverses rapprochant la production de la consommation dans un esprit de préservation et de valorisation des ressources locales en même temps que de qualités sanitaires et gustatives. Les stratégies des acteurs de projets alimentaires territoriaux sont, en effet, souvent bien différentes, comme le notent Bonnefoy et Brand (2014). Ces auteurs font ressortir des différences de choix stratégiques entre régions. Ainsi la région Rhône-Alpes a choisi de développer, dès 1980, de l'agriculture péri-urbaine, alors qu'à la même époque l'Île-de-France choisissait de préserver des espaces ouverts en périphérie de la métropole. Quelle qu'elle soit, cette « relocalisation » ne peut, à elle seule, répondre à tous les enjeux, ne serait-ce qu'aux besoins alimentaires des grandes villes qui doivent s'approvisionner à distance. C'est pourquoi une certaine diversité de formes d'agriculture apparaît nécessaire. Therond *et al.* (2017) présentent une grille de différenciation des formes d'agriculture qui semblent émerger actuellement en fonction de leur degré d'artificialisation des milieux et d'encrage dans les territoires (figure 3.5). Mais il est clair que ne peuvent coexister longtemps des formes d'agriculture aussi diverses que celles représentées sur cette figure, où se trouvent en



**Figure 3.5.** Diversité des formes d'agriculture en fonction de leur degré d'artificialisation des milieux et d'encrage dans les territoires; SP : système de production (Therond *et al.*, 2017).

rivalité des agricultures rendant des services environnementaux par un surcroît de travail, et d'autres qui poursuivent des stratégies d'augmentation de la productivité du travail pour être concurrentes sur les marchés internationaux. Une régulation politique est donc nécessaire. Où en est-on ?

## Aux échelles nationales et internationales : les politiques agricoles et alimentaires

Il faut d'abord remarquer qu'il n'y a pas encore de vraie politique qui soit à la fois agricole et alimentaire tant ces enjeux sont cloisonnés, aux échelles nationales comme internationales. Les politiques publiques, en effet, segmentent les problèmes. Depuis 1999, grâce à la mise en place d'un second pilier dans la PAC, s'est établie une coordination entre ce qui relève de l'Europe et de chacun des États membres autour d'enjeux environnementaux. Ce second pilier rassemble des aides préexistantes, comme l'ICHN, et y ajoute les mesures agro-environnementales (MAE), qui prolongent les opérations locales agro-environnementales (OLAE). Il rémunère les surcoûts et les manques à gagner de techniques contribuant à l'entretien des paysages et à la protection de l'environnement. Des contrats pluriannuels sont proposés à la souscription volontaire des agriculteurs. Ce pilier de la PAC est l'instrument le plus ciblé sur les contributions de l'agriculture à l'environnement. Il donne une place importante à l'initiative locale, génère des dispositifs d'action collective (comités de pilotage, comités techniques, etc.) au sein desquels des acteurs se coordonnent pour mettre en forme la mesure et les modalités de son contrôle. Mais, doté d'un budget dérisoire<sup>15</sup>, fondé sur l'adoption volontaire avec un faible taux constaté et une durée limitée, ne portant que sur des contrats à l'échelle parcellaire, il s'avère peu efficace (Steyaert et Papy, 1999). Qui plus est, distinctes du premier pilier, ces aides entérinent une séparation des fonctions productives et environnementales de l'agriculture, à l'opposé du couplage recherché.

À plusieurs reprises les gouvernements en France ont tenté d'encourager des initiatives d'agriculture écolisée. Dès 1993, l'année du vote de la loi sur le paysage, pour répondre au volet « agro-environnement » qui accompagne la réforme de la PAC de 1992, la France propose à l'Union européenne un dispositif expérimental : les plans de développement durable (PDD). À partir d'une analyse paysagère combinant aménagements et systèmes de culture, ils visent à accompagner l'agriculteur pour mettre en place un système de production économe en intrants et autonome (Ambroise *et al.*, 1998). Ils préfigurent les principes de l'agroécologie. Cependant, mille contrats seulement ont ainsi été mis en place. Plus tard, par la loi d'orientation de 1999, la France choisit de mettre en œuvre les soutiens du second pilier non pas mesure par mesure, mais par une approche globale qui reconnaît la multifonctionnalité de l'agriculture. Les contrats territoriaux d'exploitation (CTE) portent sur l'ensemble de l'exploitation et non sur certaines parties. En trois ans, 50 000 sont signés. Mais, trop souvent, ces contrats consistent en une mobilisation individuelle de mesures proposées dans un catalogue, sans remise en cause profonde du fonctionnement de l'exploitation. Enfin, en 2010, la loi Grenelle 2 institue la certification HVE. Mais c'est pendant la période 2012-2017 que le gouvernement de l'époque pousse le plus loin l'idée de faire bouger massivement les exploitations (Doré et Bellon, 2019). En 2012, il lance un plan

---

15. En 2003, le second pilier représente 8 M€ sur un budget total de la PAC de 47,5 M€.

« Produire autrement » sous l'étiquette de l'agroécologie, avec des actions de soutien à l'agriculture biologique et à l'agroforesterie, de baisse de l'usage des produits phytosanitaires (plan Écophyto), et la mise en place de groupements d'intérêt économique et environnemental (GIEE). Sur un territoire cohérent favorisant des synergies, plusieurs agriculteurs mettent en œuvre un projet agréé par l'État relevant de l'agroécologie<sup>16</sup>. L'accompagnement de ces collectifs d'acteurs demande des formes d'action particulières pour valoriser des dynamiques collectives dans des processus de décision (Coquil *et al.*, 2018). En 2014, une loi dite « d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt » tente de donner une valorisation économique aux démarches agroécologiques en les intégrant dans les signes officiels d'origine et de qualité, et aussi dans la démarche de progrès que constitue la labellisation HVE. Mais toutes ces actions n'aboutissent pas à une reconnaissance suffisante des performances environnementales et alimentaires pour faire bouger l'ensemble des exploitations dans leur diversité. Les surdéterminants à cette évolution sont d'ordre macroéconomique.

Il faut donc examiner comment le cœur même de la PAC, à savoir le premier pilier, qui représente l'essentiel des aides accordées aux exploitations, peut servir à les faire toutes évoluer dans le sens d'une agriculture assurant une alimentation saine en préservant et en valorisant les ressources naturelles. En 2007, conformément aux engagements pris en 1992, les aides directes sont pratiquement toutes découplées<sup>17</sup> et la France choisit de calculer ces aides sur la base d'une référence individuelle dépendant des aides accordées de 2000 à 2002. Le droit à paiement unique (DPU), contrairement aux aides accordées depuis 1992, n'oriente plus le choix de production et favorise les exploitations qui ont les références historiques les plus fortes, à savoir principalement les producteurs de céréales. Une enquête de France Stratégie (Fosse *et al.*, 2019) chiffre les aides publiques à l'agriculture très variables selon le type d'exploitation. À cette date, le premier pilier est donc aux antipodes de ce qui est recherché, puisque l'idée de découplage est fondée sur l'hypothèse d'une indépendance des biens agricoles marchands, qui doivent s'adapter aux fluctuations du marché, et des biens non marchands, comme la préservation des biens publics que sont les ressources naturelles. Alors qu'il faudrait, au contraire, coupler des cultures pour les diversifier et ne pas accorder d'aides qui ne correspondraient pas à un service rendu. Cependant, la réforme de la PAC de 2014 fait légèrement évoluer le premier pilier, *primo* vers plus d'équité entre exploitations, remplaçant le DPU vers un droit à paiement de base (DPB) qui doit progressivement converger, et *secundo* vers plus de protection de l'environnement, car, sous l'appellation de « paiement vert », 30% du premier pilier sont versés pour rémunérer des pratiques séquestrant le carbone et favorisant la biodiversité (maintien des prairies de plus de 5 ans, pratiques d'au moins 3 espèces cultivées sur les terres arables, et entretien de 5% de la SAU en « surface d'intérêt écologique », ou SIE, à savoir arbres, haies, bandes tampons, certains types de cultures comme les cultures intermédiaires fixatrices d'azote). Même si l'esprit du paiement vert est quelque peu détourné (interculture entre deux maïs comptée comme diversification, dérogation sur les SIE, etc.), la réforme de 2014 constitue une légère avancée.

Cependant, le défaut majeur de la PAC pour assurer le couplage entre fonction productive et environnementale de l'agriculture est la discordance qu'elle maintient entre les

16. Au début de 2018, 500 projets ont été agréés regroupant 7 500 exploitations.

17. En France, reste comme aide couplée la prime au maintien du troupeau de vaches allaitantes (PMTVA).

outils d'intervention publique. Le second pilier, avec de faibles moyens, répare les dégâts environnementaux et sociaux engendrés par les modalités d'attribution des soutiens du premier pilier. Or, comme le fait remarquer Bazin (2021), dans la nouvelle PAC qui vient d'être négociée, ni le découplage, ni la dérégulation des marchés, ni l'alignement sur les prix internationaux ne sont remis en cause. Pourtant, une politique qui agit sur les fonctions environnementales doit agir sur les orientations de production et donc sur les marchés agricoles. Elle ne peut être déterminée par eux. En effet, comment, dans un marché concurrentiel, éviter le *dumping* social entre pays aux niveaux de vie très différents ? Et comment éviter le *dumping* écologique, alors que les services écologiques attendus sont plus ou moins forts selon les lieux ? Enfin, comment assurer aux agriculteurs du monde entier des rémunérations justes et équitables pour toutes ces fonctions à remplir ? Voilà des questions qui, selon Griffon (2010), sont en rupture radicale avec les politiques actuelles de libéralisation des échanges agricoles et sur lesquelles les agronomes auront à s'impliquer.

Ainsi, en raison des décisions prises au niveau politique supérieur, le défi de réaliser le couplage entre fonctions productive et environnementale est loin d'être relevé. C'est d'autant plus vrai que la PAC n'a pas établi de pont avec une politique alimentaire. Aussi, actuellement, est-ce aux niveaux des États, et plus encore des régions, des métropoles, des territoires locaux que, mettant en synergie des objectifs de qualité sanitaire de la production et de préservation de l'environnement, des décisions peuvent être prises pour faire évoluer l'agriculture. Dans l'immédiat, sans doute est-ce à ce niveau que les agronomes peuvent être les plus utiles.

## ► Conclusion

Les problèmes abordés par les agronomes depuis le milieu des années 1900 n'ont cessé de se complexifier, car ils ont changé d'échelle (de la parcelle à la planète) et ont dû porter sur la plurifonctionnalité de l'agriculture désormais demandée par la société. Nous avons vu qu'il y avait souvent des discordances entre le bon fonctionnement des agroécosystèmes aux différentes échelles et les niveaux de systèmes de décision agissant sur eux. Parce qu'ils explorent, en les distinguant, ces deux champs d'investigation, les agronomes sont à même d'analyser l'origine des problèmes et d'orienter leur résolution vers la recherche de compromis ou de mises en synergie. Ainsi avons-nous vu qu'il fallait modifier le fonctionnement des agrosystèmes à l'échelle parcellaire pour les rendre compatibles avec le fonctionnement d'une exploitation agricole, du bassin d'approvisionnement d'un centre de collecte ou d'un périmètre d'irrigation s'alimentant au fil de l'eau. Mais il peut y avoir aussi des solutions valorisant les complémentarités entre parcelles de régions différentes par exemple pour fournir une farine de blé dur favorable à la fabrication de pâtes, ou encore entre exploitations pour étaler et diversifier la production dans un bassin maraîcher. Un antagonisme fort est apparu entre la poursuite de l'agriculture des dernières décennies du xx<sup>e</sup> siècle et des objectifs environnementaux. Aussi, dès lors que l'agriculture s'est vu enjoindre d'assumer à la fois des fonctions productives et environnementales, il est apparu nécessaire de jouer sur deux tableaux : à la fois concevoir de nouveaux agroécosystèmes dans une conception plus écologique, mais aussi revoir le fonctionnement des exploitations agricoles et peut-être plus encore celui des filières, concevoir des projets agroalimentaires territorialisés... et surtout reconsidérer les politiques agricoles. Ces évolutions dans

lesquelles sont engagés les agronomes sont donc profondes. Il s'agit de reconnecter les cycles biogéochimiques en associant culture et élevage, de préserver et cultiver la biodiversité ou encore de rapprocher production et consommation. De telles évolutions remettent en cause la façon de penser les rapports des acteurs aux processus naturels. Très souvent ces rapports sont envisagés comme étant cloisonnés, or un jeu des synergies entre plusieurs processus est possible. Ainsi nous avons vu qu'il était envisageable de concevoir des projets de paysage permettant l'entretien de la biodiversité et la régulation des bioagresseurs, celle des flux d'eau et des systèmes érosifs, la fixation du carbone, mais, plus encore, nous avons vu la possibilité de faire jouer des synergies entre préservation de l'environnement et production d'une alimentation saine. Ainsi le champ d'investigation des agronomes s'ouvre alors aux liens à rechercher entre régimes alimentaires et systèmes de culture/aménagements de l'espace préservant l'environnement.

Cette complexification des problèmes a sensiblement modifié les métiers d'agronome. De prescripteurs et accompagnateurs des agriculteurs qu'ils étaient, les agronomes, dans la recherche des nouveaux agroécosystèmes à mettre en œuvre, ont maintenant un rôle de facilitateurs dans les négociations entre acteurs des territoires autour des questions de production, de transformation et de distribution des produits agricoles préservant l'environnement et la santé.

## ► Repères bibliographiques

Toutes les références citées dans le texte sont accessibles *via* le lien suivant : <https://www.quae.com/produit/1743/9782759235414/la-fabrique-de-l-agronomie>

Classées chronologiquement, celles qui suivent sont à consulter pour approfondir ou illustrer le parcours évoqué dans le chapitre. Pour une vue d'ensemble de ces repères, voir en fin d'ouvrage.

Hénin S., Fraigneau R., 1960. Quelques considérations sur le problème des assolements. *Comptes-rendus des séances de l'Académie d'agriculture de France*, 519-526

Milleville P., 1972. Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en moyenne-Casamance. *Cahiers de l'Orstom, série Biologie*, 17, 23-37. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_4/biologie/17621.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/biologie/17621.pdf)

Osty P.L., 1978. L'exploitation agricole, vue comme un système : diffusion de l'innovation et contribution au développement. *Bulletin technique d'information*, 326, 43-49.

Capillon A., Manichon H., 1979. Une typologie des trajectoires d'évolution des exploitations agricoles (principes, application au développement agricole régional) *Comptes-rendus des séances de l'Académie d'agriculture de France*, 1168-1178.

Gastellu J.-M., 1980. Mais où sont donc ces unités économiques que nos amis cherchent tant en Afrique? *Cahiers de l'Orstom, série Sciences humaines*, 17 (1-2), 3-11.

Hénin S., 1980a. Rapport du groupe de travail Activités agricoles et qualité des eaux. Ministère de l'Agriculture, ministère de l'Environnement, Paris.

Boiffin J., Papy F., Eimberck M., 1988. Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. I. Analyse des conditions de déclenchement de l'érosion. *Agronomie*, 8 (8), 663-673. hal-02719230

Meynard J.-M., Girardin P., 1991. Produire autrement. *Le Courrier de la cellule environnement de l'Inra*, 15, 1-19.

Papy F., Douyer C., 1991. Influence des états de surface du territoire agricole sur le déclenchement des inondations catastrophiques. *Agronomie*, 11, 201-215.

Aubry C., Biarnès A., Maxime F., Papy F., 1998. Modélisation de l'organisation technique de la production dans l'exploitation agricole : la constitution de systèmes de culture du Bassin parisien. *Études et recherches sur les systèmes agraires et le développement*, 31, 25- 43.

Meynard J.-M., 1998. La modélisation du fonctionnement de l'agrosystème, base de la mise au point d'itinéraires techniques et de systèmes de culture. In : *La Gestion des systèmes de culture : regards d'agronomes* (Biarnès A., Fillonneau C., Milleville P., eds), Orstom, 29-54.

Deffontaines J.-P., Thion P., 2001. Des entités spatiales significatives de l'activité agricole pour les enjeux environnementaux et paysagers : contribution à une agronomie du territoire. *Courrier de l'environnement de l'Inra*, 44, 12-38.

Schott C., Mignolet C., Meynard J.-M., 2010. Les oléoprotéagineux dans les systèmes de culture : évolution des assolements et des successions culturales depuis les années 1970 dans le bassin de la Seine. *OCL. Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 17, 276-291.

Doré T., Makowski D., Malézieux E., Munier-Jolain N., Tchamitchian M., TITTONELL P., 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy*, 34 (4), 197-210. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006>

Le Bail M., Le Gal P.-Y., 2011. Analyse et conception des systèmes de production végétale à l'échelle des bassins d'approvisionnement agro-alimentaires. *Agronomie, environnement et société*, 1 (2), 75-86.

Boiffin J., Benoît M., Le Bail M., Papy F., Stengel P., 2014. Agronomie, espace, territoire : travailler « pour et sur » le développement territorial, un enjeu pour l'agronomie. *Cahiers Agricultures*, 23, 72-83. <https://doi.org/10.1684/agr.2014.0688>

Lemaire G., Franzluebbers A., Carvalho P.C., Dedieu B., 2014. Integrated Crop-Livestock Systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 190, 4-8.

Debaeke P., Pellerin S., Scopel E., 2017. Climate-smart cropping systems for temperate and tropical agriculture: mitigation, adaptation and trade-offs. *Cahiers Agricultures*, 26 (3), 1-12.

Meynard J.-M., Jeuffroy M.H., Le Bail M., Lefèvre A., Magrini M.B., Michon C., 2017. Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems. *Agricultural Systems*, 157, 330-339.

Billen G., Lassaletta L., Garnier J., Le Noë J., Aguilera E., Sanz-Cobena A., 2019. Opening to distant markets or local reconnection of agro-food systems? Environmental consequences at regional and global scales. In: *Agroecosystem Diversity. Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality* (Lemaire G., De Faccio Carvalho P.C., Kronberg S., Recous S., eds), Elsevier-Academic Press, 391-413.

Pellerin S., Balesdent J., Debaeke P., Itier B., 2019b. La prise en charge de l'enjeu climatique dans les recherches du département. In : *Une agronomie pour le XXI<sup>e</sup> siècle* (Richard G., Stengel P., Lemaire G., Cellier P., Valceschini E., coord.), Éditions Quæ, 70-89.