

## **RELATIONS PLANTE/SOL/CLIMAT Connaître le sol : nouveaux enjeux pour la gestion des territoires ruraux**

### **Crop/soil/climate relations Knowing the soil: new challenges for managing rural land**

Oléagineux, Corps Gras, Lipides. Volume 7, Numéro 6, 485-9, Novembre - Décembre 2000, Dossier : "Agriculture, recherche et territoire"

**Auteur(s)** : Pierre Stengel, Inra, Direction scientifique Environnement, Forêt et Agriculture, 147, rue de l'Université, 75338 Paris Cedex 07, France.

**Résumé** : Dans son acception commune, le mot sol désigne de façon souvent indissociable l'espace d'un territoire et la terre qui le recouvre. Cet héritage culturel d'une époque encore proche où l'association territoire-espace rural-agriculture relevait de l'évidence pour notre civilisation suffirait à motiver qu'une analyse actualisée des relations agriculture-territoire s'intéresse au sol comme composante de ces relations. Cependant, l'évolution de l'agriculture durant ces dernières décennies a considérablement atténué sa dépendance au sol, en tant qu'objet physique ou matériau déterminant par ses aptitudes et limitations les systèmes et techniques d'exploitation. Un des objectifs prioritaires du développement du modèle dit productiviste de l'agriculture française dans la deuxième moitié de ce siècle a en effet consisté à surmonter les contraintes que le sol imposait à la production. Il y est très largement parvenu. L'usage massif des intrants, engrais et amendements lui a permis de s'affranchir de la dépendance à l'égard de la « fertilité naturelle » des sols. Par la mécanisation et les opérations d'aménagement, drainage, irrigation, remembrement, les limitations physiques ont été largement surmontées. Ces évolutions ont coïncidé avec une spécialisation des systèmes de culture répondant aux exigences de compétitivité économique, qu'elles ont contribué à rendre possible. La réduction du nombre des espèces cultivées qui en est résultée au niveau des exploitations et de régions entières a également restreint la diversité des réponses adaptatives de l'agriculture aux variations spatiales des caractéristiques du sol. Globalement, le succès de l'intensification a permis à l'agriculture d'oublier le sol et de s'approcher d'une situation idéale quant à l'efficacité quantitative du processus productif qui consiste à le traiter comme un matériau support standard, modulant secondairement les fonctions de production des intrants. Cette vision est certes un peu extrême, mais il n'en reste pas moins que, dans la relations agriculture-territoire, le sol a occupé progressivement une position de plus en plus secondaire. Une des manifestations spécifiques à notre pays de cette indifférence croissante est la faiblesse des moyens dont il s'est doté pour connaître et gérer la diversité de sa couverture pédologique. Il ne dispose ni d'un inventaire exhaustif suffisamment précis pour répondre aux besoins de l'agriculture et de la décision publique, ni d'un outil de surveillance efficace de l'état de son patrimoine sol. Enfin, la protection des sols n'y est assurée que très partiellement par des dispositions juridiques ou réglementaires. L'évolution récente du contexte agricole, qu'elle concerne les mécanismes de soutien et de formation de revenu, les

exigences de compétitivité et de qualité des produits, les liens au territoire et à l'environnement ou la recherche de la durabilité, conduit à une révision profonde de cette attitude. Cette nouvelle donne porte en gestation de nouvelles manières de produire et, plus généralement, de nouvelles méthodes de gestion de l'espace rural dans lesquelles le sol et son évolution devront être beaucoup plus fortement pris en compte. C'est la nécessité de ce changement et ses implications en matière de mobilisation des connaissances sur le sol qui constituent le propos de cet article.

**Summary :** Soil knowledge and care have apparently lost most of their importance for french agriculture during the last decades. This was due to the agronomy and industry success in fertility management, water management and mechanisation. Nowadays changes in economic conditions and agriculture policy, environment issues and seek for sustainability are generating a reverse trend. More precise and exhaustive informations on soil properties and their spatial variations become necessary to face the new challenges for agriculture: saving costs, improving products qualities, reducing pollutions, protecting biodiversity and preventing long terme soil degradations. New tools are also required to use this more complex amount of informations in an efficient way. Modelling, data bases and GIS have to be linked in decision helping systems. For farmers technical assessment, land planning and policy decision making at different scales. Soil knowledge and data, bases must be integrated in such systems in France. Available geographic soil data bases are for too poor to answer these needs. New programmes are developped to complete a national soil data base with a multiscale purpose and set up a soil quality observation network.

**Keywords :** soil, soil quality, soil degradation, agriculture, products quality, environment.

ARTICLE

### **Le sol, outil pour une nouvelle compétitivité**

C'est en premier lieu en tant qu'outil compétitif et facteur d'adaptation au nouveau contexte économique que le sol doit faire l'objet d'un nouvel apprentissage par l'agriculture.

#### ***Raisonnement la désintensification, maîtriser les charges fixes***

La réforme de la PAC de 1992 a entraîné, parmi ses conséquences les plus apparentes, la baisse du rapport entre prix des produits, d'une part, et coût des intrants et des équipements, d'autre part. Il en résulte une contrainte de réduction conjointe des charges variables et des charges fixes. Ainsi, la baisse du rapport des prix des produits sur ceux des fertilisants ou des traitements phytosanitaires induit une diminution des niveaux optimum d'objectifs de rendement et donc d'emploi des intrants nécessaires pour les assurer. En effet, le poids du risque économique associé au « gaspillage » de ces intrants, lorsqu'une année climatique mauvaise ne permet pas de les valoriser, s'accroît par rapport à celui du risque symétrique de rendement inférieur au potentiel en année favorable. Dans le cas du blé [1-3], les valeurs de rendement objectif qu'il est économiquement rentable de viser se situaient en 1997 au niveau de la médiane de la distribution des valeurs possibles sur une parcelle alors que, vers le milieu des années 80, elle se situait au niveau du neuvième décile. Or, l'influence des sols sur les niveaux de rendement est plus forte dans cette plage médiane de la distribution que sur les rendements les plus élevés. Dans cet exemple précis, les valeurs médianes ou inférieures correspondent le plus souvent à des années marquées par un fort déficit hydrique où les réserves en eau du sol sont un facteur important de la variabilité locale des rendements.

On voit ainsi que l'optimisation d'objectifs de rendement doit être fondée sur une connaissance des sols de l'exploitation et de leur influence sur l'espérance des rendements des cultures. Mais la recherche de l'efficacité dans la réduction des charges variables conduit en fait à la conception d'itinéraires techniques très nettement modifiés par rapport à ceux qui étaient antérieurement pratiqués. Il ne s'agit pas de réduire de façon homothétique les quantités d'intrants apportés mais de valoriser au mieux les interactions entre techniques culturales. La conjonction d'un semis tardif avec une réduction des doses de semis et d'azote permet, par exemple, de restreindre l'usage des produits phytosanitaires en réduisant les risques de verse et de maladie. Cette désintensification portant de manière combinée sur plusieurs facteurs a pour effet de rendre la culture plus dépendante du milieu à chaque étape de son développement. Le raisonnement de chaque modalité d'intervention doit donc intégrer plus précisément les caractéristiques et le comportement du sol relatifs, par exemple, aux risques de perte à la levée, à la disponibilité des réserves hydrominérales ou à l'état de salissement de la parcelle.

Parallèlement, les voies qui sont ouvertes pour maîtriser la prépondérance accrue des charges fixes [4], en particulier celles afférentes à la mécanisation et à la main-d'œuvre, débouchent sur des adaptations diverses du parc matériel, des itinéraires techniques et de l'organisation des chantiers. Parmi les informations à mobiliser pour concevoir ces adaptations, celles qui concernent le sol en tant que support des interventions culturales prennent une part importante. Il s'agit, en particulier, de connaître les propriétés physiques qui déterminent la possibilité de réalisation des techniques culturales se traduisant par le nombre de jours « disponibles » pour ces travaux dans les calendriers culturaux : vitesse de ressuyage, portance, sensibilité au compactage, aptitude à la fragmentation.

### ***Assurer la qualité des produits et son image***

Les filières agro-alimentaires sont engagées dans une stratégie de segmentation des marchés qui est désormais prise en compte très fortement par les producteurs agricoles, dans de nombreux domaines, y compris les productions de masse. L'enjeu de maîtrise de la qualité des produits qui en résulte implique d'optimiser la conduite des cultures non plus sur le seul critère de rendement, mais sur des critères de composition, de dimension ou d'aspect des produits récoltés. Entre autres conséquences, cela suppose un contrôle plus fin de la nutrition hydrominérale des couverts végétaux : les effets de la nutrition azotée sur la teneur en protéine du blé ou de l'orge de brasserie, ceux de la nutrition azotée ou potassique sur la qualité des betteraves et des pommes de terre en sont des exemples bien connus. Une prise en compte de plus en plus précise des capacités de fourniture du sol devient nécessaire pour la gestion des apports, voire même dans la définition des aptitudes d'une parcelle à une production déterminée : c'est le cas pour l'endive ou l'orge de brasserie dont la culture est à proscrire dans les sols présentant une capacité de fourniture d'azote minéral trop élevée.

Dans certains cas, c'est toute l'organisation d'un bassin de production qui doit être maîtrisée pour optimiser la qualité au niveau d'un centre de collecte ou de transformation, exigeant une prise en compte de la variabilité des sols pour répartir au mieux les cultures et les techniques qui leur sont appliquées. Ainsi, la carte des sols du département de l'Aisne a permis d'améliorer les plannings d'implantation et de récolte de la carotte de conserve [5] et d'accroître la part de production de meilleure qualité commercialisée en période de cours plus favorables.

À propos de ce dernier exemple, on perçoit un changement de niveau d'organisation et d'échelle correspondant à l'entité territoriale en cause dans la relation sol-production végétale. De la parcelle et l'exploitation, on passe au bassin de production. L'extension de cette entité en termes d'espace ou de

population d'entreprises agricoles concernées ne dépend cependant que lointainement des caractéristiques du sol. Il peut en être autrement lorsque la référence à l'origine géographique constitue le support à la différenciation du produit. Son identification repose alors sur l'hypothèse d'un lien spécifique et reproductible dans le temps entre ses caractéristiques qualitatives et celles de son aire ou terroir de production. Dans le cas de la référence historique que constitue la production viti-vinicole, la nature des formations géologiques superficielles et des sols qui leur sont associés a traditionnellement figuré parmi les critères de délimitation des terroirs. Au-delà de la construction de l'image des produits et des corrélations qui permettent effectivement d'associer le caractère d'un vin à son terroir d'origine, des recherches ont permis d'identifier des caractéristiques de terrain (pente, exposition) et du sol (propriétés hydriques et thermiques) qui influencent la composition de la vendange et des moûts [6]. Même si l'effet terroir est plus généralement un ensemble très complexe d'interactions entre milieu, pratiques culturelles et procédés de fabrication des produits, la signature du sol peut entrer en corrélation avec d'autres facteurs dans les composantes de la qualité. Son approche plus explicative, mieux fondée sur l'écophysiologie végétale, devait conduire à une interprétation plus argumentée de la notion d'appellation d'origine. On peut pronostiquer que la justification, la délimitation et la gestion des aires correspondantes devront alors fréquemment faire appel à des caractérisations mieux spécifiées des sols, identifiées comme déterminants pour la typicité des produits du terroir.

### **Un objet central pour gérer l'environnement**

Du fait de sa position d'interface entre les différents compartiments de la biosphère [7, 8], le sol joue un rôle important vis-à-vis de la plupart des grands problèmes de préservation et de gestion des ressources de l'espace rural. C'est en grande partie par l'intermédiaire du sol que les activités agricoles et forestières influent sur l'environnement. La gestion agri-environnementale qui va désormais s'imposer est donc pour une large part une gestion des sols. Les fonctions à gérer ne sont alors plus seulement celles qui sont liées à son rôle de support de la production végétale mais aussi celles liées au cycle hydrologique, au devenir des polluants, à la gestion de la biodiversité et aux cycles biogéochimiques planétaires, en particulier celui du carbone.

À chacune de ces fonctions correspondent des niveaux spatiaux d'appréhension pertinents, définis précisément par leur caractère fonctionnel. L'illustration la plus commune en est les bassins hydrologiques, bassin versant d'un hydrosystème superficiel ou bassin d'alimentation d'une nappe souterraine. Mais cette notion s'étend, par exemple, au territoire d'une espèce animale d'intérêt patrimonial et recouvre le territoire national lorsqu'il s'agit d'établir le bilan des émissions de gaz à effet de serre par l'agriculture. Le sol retrouve ici son statut de caractéristique constitutive du territoire comme facteur direct de la réponse collective aux objectifs de gestion des ressources naturelles. Faute de pouvoir présenter une analyse exhaustive de ses fonctions environnementales, on se limitera à en aborder plus en détail deux aspects d'importance majeure dans la problématique actuelle de gestion agri-environnementale.

\* *Le sol carrefour hydrologique.* L'état et le comportement du sol déterminent deux aiguillages importants du cycle hydrologique : d'une part, le partage entre infiltration et ruissellement et, d'autre part, la répartition de l'eau infiltrée entre stockage, évapotranspiration et drainage latéral ou vertical. Pour analyser et maîtriser les problèmes d'altération de la qualité des eaux, de pénurie de la ressource ou de crises hydrologiques, crues et inondation, on doit donc prendre en compte le fonctionnement hydrique des sols qui recouvrent le bassin d'alimentation des hydrosystèmes concernés. Par l'irrigation,

la succession des cultures et leurs modalités d'exploitation, les interventions culturales, l'agriculture agit de façon déterminante sur ce fonctionnement en modifiant les quantités d'eau drainée, leur répartition dans le temps et les états de surface qui affectent les risques du ruissellement. Adapter ses pratiques aux enjeux qualitatifs et quantitatifs de gestion de la ressource hydrique impose de s'appuyer sur une connaissance des propriétés hydrodynamiques du sol et de leurs variations temporelles, en particulier sous l'effet des techniques culturales, beaucoup plus précise que dans une logique purement productive. Ainsi, l'estimation du ruissellement de surface requiert une connaissance détaillée des relations entre conductivité hydraulique et dynamique de la structure superficielle du sol, alors que ce flux est fréquemment négligé dans l'évaluation de la disponibilité en eau pour les cultures, car il ne représente souvent qu'une fraction de quelques pour cent des précipitations.

\* *Le devenir des polluants.* Un grand nombre de substances possédant un caractère polluant, minérales (forme minérale de l'azote et du phosphore, ions et oxydes métalliques, etc.) et organiques (dont les produits phytosanitaires et leurs dérivés), transitent par le sol. Certaines, tels l'azote et le phosphore, ne peuvent d'ailleurs être considérées comme des polluants du sol lui-même. Ce n'est qu'après transfert dans les eaux ou l'atmosphère qu'elles peuvent devenir nuisibles. Pour comprendre, prévoir et maîtriser le devenir des polluants dans l'environnement et les chaînes alimentaires, il faut considérer le sol d'un triple point de vue :

- en tant que récepteur et réservoir doté d'une capacité d'accumulation ;
- comme réacteur physico-chimique et biologique dans lequel les substances polluantes subissent des transformations modifiant à la fois leur toxicité, leur mobilité, leur biodisponibilité, et ainsi leurs aptitudes à contaminer d'autres milieux et les chaînes alimentaires ;
- en tant que source émettrice susceptible de relarguer pendant de longues durées par l'intervention de processus physiques de transfert (drainage, ruissellement et érosion, émissions gazeuses), les substances mises en réserve sous forme minérale ou organique.

L'agriculture intervient sur l'ensemble de ce comportement complexe. Son action sur la maîtrise des pollutions ne peut se réduire à un ajustement toujours plus précis du niveau d'utilisation des intrants. Ses difficultés majeures tiennent en particulier au facteur suivant :

- le caractère extrêmement ténu des flux de matières à contrôler par rapport à ceux qui sont mis en jeu dans le processus productif. Ainsi, pour respecter les normes de potabilité de l'eau drainée au niveau d'une parcelle, il faut que les quantités de nitrate entraînées ne dépassent pas des valeurs de l'ordre du dixième des apports d'azote par les engrais. Ce rapport peut atteindre l'ordre du millième dans le cas d'un herbicide ;
- l'inertie du système sol, à laquelle s'ajoute, dans le cas de la pollution des hydrosystèmes, celle liée à la migration des substances dissoutes dans le sous-sol qui peut atteindre des dizaines d'années ;
- la nécessité de conjuguer la maîtrise des flux d'entrée et de sortie de matière à différents niveaux d'entité spatiale, parcelles, bassins versants, paysage ou microrégion, où peuvent être mis en jeu et valorisés les effets positifs d'aménagements et de certains éléments de paysage, formations boisées ou zones humides par exemple s'agissant de qualité des eaux.

Dans tous les cas, on voit que la gestion agri-environnementale doit s'appuyer sur une connaissance très précise des propriétés des sols et de leur distribution dans l'espace, portant sur les multiples variables qui déterminent ses interactions avec chacun des types de substances polluantes et donc considérablement accrue par rapport à ce qui est nécessaire pour assurer quantitativement la production.

### **Un patrimoine à préserver**

Outil de production et compartiment clé de l'environnement, le sol est aussi un patrimoine dans la mesure où il constitue une ressource pratiquement non renouvelable et sujette à des processus de dégradation quasi irréversibles. La réactualisation perceptible de cette vision patrimoniale découle en partie des préoccupations de durabilité et de précaution, mais aussi de manifestations de dégradation plus ou moins bien spécifiées et quantifiées [9].

Celles-ci apparaissent dans un contexte marqué par le résultat de décennies d'une politique d'enrichissement généralisé des sols en éléments nutritifs, qui a fréquemment amené le niveau des réserves minérales au-delà du seuil de non-réponse des cultures aux engrais phosphatés et potassiques. Cet enrichissement est à considérer, vis-à-vis du sol, comme un bénéfice patrimonial. Il laisse aussi place à l'hypothèse suivant laquelle il contribue à masquer les conséquences négatives de dégradations lentes et insidieuses dont le diagnostic est ainsi rendu plus difficile.

Parmi celles qui sont, à divers degrés, l'objet d'attention des spécialistes, trois sont à considérer comme des menaces reconnues. Ce sont l'extension des phénomènes d'érosion hydrique, les contaminations et pollutions, principalement par les éléments traces minéraux, l'acidification des sols forestiers. Dans ces trois cas, l'extension et les causes du processus sont assez bien connues [10] et justifient incontestablement la vigilance. En revanche, leur intensité et ses variations dans l'espace restent insuffisamment quantifiées par rapport aux besoins d'un diagnostic sur l'état et le devenir du patrimoine sol au niveau national. En tout état de cause, les données disponibles ne conduisent pas à identifier une menace à court terme et généralisée sur les fonctions productives du sol et, en particulier, sur la contamination des chaînes alimentaires. Ce sont la gestion patrimoniale à long terme, d'une part, et les répercussions des altérations de qualité du sol sur les autres compartiments de l'environnement, d'autre part, qui sont principalement en cause et peuvent motiver localement des démarches de prévention. Enfin, vis-à-vis des risques de contamination des produits, il convient de prendre en compte l'incertitude sur l'évaluation des risques toxiques à long terme associés à de très faibles doses de contaminants et aux interactions éventuelles entre contaminants multiples. Elle justifie une attitude de précaution consistant à connaître beaucoup plus finement les niveaux de contamination des sols par les substances minérales ou organiques à caractère toxique, dont les produits phytosanitaires, et les transferts vers les végétaux qui en résultent.

Une inquiétude plus diffuse concerne les atteintes aux qualités biologiques des sols par les pratiques de l'agriculture intensive [11]. À l'appui de cette thèse, de nombreuses données expérimentales montrent des diminutions importantes de populations telluriques, par exemple de vers de terre, ou des activités biologiques de certaines catégories d'organismes, sous l'effet des techniques culturales et d'apports de produits phytosanitaires.

Faute d'un indicateur général permettant de distinguer des tendances significatives et révélatrices d'altérations durables des propriétés fonctionnelles du sol, l'évaluation d'éventuelles dégradations biologiques du sol, qui ne peuvent être exclues, reste du domaine de la recherche.

Ce survol très sommaire conduit à deux constats essentiels. Le premier est la tendance à une très grande diversification des critères d'appréciation de la qualité des sols. Elle peut être illustrée par deux exemples. Celui de l'émergence de la problématique du changement global conduit, entre autres, à considérer la capacité du sol à réduire l'azote à l'état moléculaire et à limiter ainsi l'émission de  $N_2O$ , puissant gaz à effet de serre, comme un critère potentiel d'appréciation de sa qualité. De même celui de la prise en compte croissante de la valeur patrimoniale de l'immense diversité des être vivants qu'hébergent les couvertures pédologiques ouvre un champ entier de perspectives nouvelles dont l'exploration n'en est qu'à sa phase initiale. Le second constat est que cette diversification des critères d'évaluation qualitative s'accompagne de remises en cause et d'adaptations locales ou circonstancielles de leur hiérarchie. En particulier, des processus imperceptibles du point de vue de la production peuvent désormais être considérés comme des dégradations des sols. Le cas des dégradations physiques constituent à cet égard une bonne illustration. Même si leur intensité est mal estimée au niveau national, elles n'ont pas de répercussion importante connue sur les niveaux de production. En revanche, s'il était avéré qu'elles contribuent à accroître les flux de ruissellement et la fréquence des crues catastrophiques ou des coulées boueuses, on devrait les classer parmi les dégradations graves et développer les moyens de les maîtriser.

La conséquence majeure qui en résulte est que les conceptions de l'entretien, de la protection et de l'amélioration des sols sont à concevoir de manière totalement renouvelée. Elles acquièrent une dimension nouvelle qui dépasse l'intérêt patrimonial des agriculteurs et relèvent désormais d'une appréciation plus globale qui devient en particulier nécessaire pour traduire en terme concret le contenu environnemental du concept de multifonctionnalité.

Enfin, compte tenu des attentes connues ou soupçonnées auxquelles est exposée la qualité des sols, son observation et son suivi représentent aujourd'hui un enjeu important, aux niveaux national et international. Qu'il s'agisse d'attester la sécurité sanitaire des produits ou des conditions de production, de définir des normes européennes de pollution des sols ou de négocier la prise en compte internationale du rôle de puits de carbone du sol, la disponibilité de données collectées de manière systématique constitue un atout de plus en plus nécessaire.

### **De nouveaux besoins d'informations sur les sols**

Les trois catégories d'enjeux qui viennent d'être rapidement décrites contribuent conjointement à revaloriser le statut du sol comme outil de travail pour l'agriculture. Mais aussi, et au-delà, elles en font une composante des décisions de multiples catégories d'acteurs responsables de la gestion et de la protection des ressources naturelles, de la surveillance de la qualité de l'environnement, de l'évaluation foncière ou de la gestion de l'espace rural.

Il s'agit donc désormais d'élaborer de nouvelles démarches d'aide à ces décisions qui impliquent un recours important à des informations sur les sols. Dans le domaine de la gestion des ressources naturelles, leur principe consiste à fournir aux acteurs concernés les moyens de prédire les impacts associés à différents types de pratiques, de manière à pouvoir simuler des scénarios variés et leur appliquer des procédures de choix. En matière de gestion de l'espace, le problème de base est celui de

l'évaluation des aptitudes et contraintes que présente une portion d'espace vis-à-vis de différents usages dont elle peut être l'objet pour choisir les sites les plus appropriés pour un usage donné ou arbitrer pour la répartition de l'espace entre des usages concurrents. Les profondes transformations sociales qui affectent l'espace rural, extension urbaine, occupation non agricole du territoire agricole induisent un accroissement en quantité et en acuité de ces questions relatives à un domaine traditionnel de valorisation des informations sur le sol.

Les décisions à prendre se caractérisent à l'évidence par leur très grande variété puisqu'elles vont du réglage des engins agricoles jusqu'à l'établissement de normes et règlements internationaux. La prise en compte de plus en plus marquée des impacts environnementaux est un facteur important de leur complexification du fait de la multiplicité des aspects à considérer et de la difficulté à appréhender et maîtriser les processus correspondants. Ainsi, les décisions ne peuvent plus s'appuyer sur les approches empiriques qui ont montré leur efficacité vis-à-vis de l'accroissement des rendements des cultures. Bien que fondé globalement sur les progrès des connaissances du sol, celui-ci a reposé largement, au niveau de la décision technique des agriculteurs, sur l'expertise personnelle issue de l'apprentissage des praticiens et la démarche empirique d'essais et erreurs. Cela explique la faible demande quantitative formalisée d'informations qui a caractérisé notre pays, qu'il s'agisse des analyses de terre ou de cartographies détaillées des sols. Mais ces démarches ne s'appliquent pas aux problèmes environnementaux qui, à la différence des comportements des cultures, ne se traduisent pas par des résultats aisément observables et clairement reliés aux actions mises en œuvre. Il faut donc recourir aux outils et méthodes de simulation fondés sur une description formalisée du fonctionnement des écosystèmes cultivés, c'est-à-dire à des modèles.

La modélisation est largement développée pour comprendre et prévoir de nombreux processus d'intérêt agronomique : fonctionnement des couverts végétaux, développement des maladies, transfert dans le sol, organisation du travail dans l'exploitation, etc. Pour transférer utilement ces démarches à l'aide à la décision, il faut combiner les modèles relatifs à différents processus ou compartiments des agro-systèmes, de façon à établir les liens entre interventions sur les territoires et critères technico-économiques ou environnementaux traduisant leurs impacts. Mais la production de telles représentations intégrées du fonctionnement des agro-écosystèmes ne suffit pas à constituer les outils nécessaires à la conception et à l'évaluation des propositions d'action. Il faut, en outre, disposer de données permettant leur exploitation locale, en particulier celles qui caractérisent les propriétés du sol.

Or, en matière de bases de données sur les sols, notre pays se signale par sa pauvreté. La seule base de données pédologiques couvrant la totalité du territoire a une résolution spatiale très grossière correspondant à l'échelle cartographique du 1/1 000 000. Le programme de cartographie à moyenne échelle (1/100 000) n'a couvert que 16 % de la surface nationale. Un effort important est en cours pour combler cette lacune : il s'agit du programme « Inventaire gestion et conservation des sols (IGCS) », conduit conjointement par l'INRA et le ministère chargé de l'Agriculture en collaboration avec les acteurs régionaux intéressés.

Il a l'ambition de produire un outil répondant aux besoins de niveaux régional et local par la création de bases de données pédologiques régionales, gérées par un système d'information géographique. Au niveau régional, les référentiels pédologiques, de résolution équivalente à l'échelle du 1/250 000, constituent un support aux décisions de localisation de l'usage des sols par le zonage d'aptitudes ou de risques. Au niveau local, des données de haute résolution, obtenues sur des « secteurs de référence »,

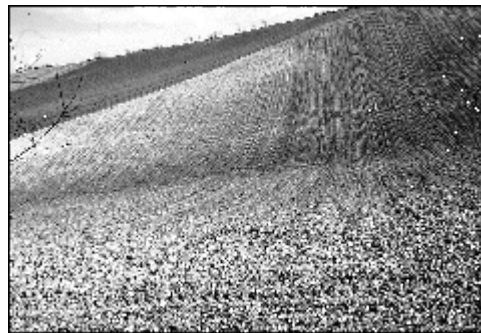


permettent de répondre aux questions de gestions des sols relevant de la pratique agricole. Enfin, une action importante de développement méthodologique est accomplie en accompagnement pour mettre au point des techniques d'estimation, à partir des données pédologiques de base, des multiples variables physiques, chimiques ou biologiques qui sont nécessaires au traitement des questions qui ont été évoquées.

La perspective d'accès aux caractéristiques permanentes des sols ouvre donc la possibilité de traiter avec des moyens adaptés les questions nouvelles. Elle n'est cependant pas suffisante. Elle doit être complétée par la capacité à tenir compte des variations temporelles de propriétés des sols et, particulièrement, à en quantifier les dégradations pour répondre aux besoins de gestion patrimoniale et durable des ressources naturelles non renouvelables. Dans ce but, un programme national d'observation et de surveillance de la qualité des sols se met en place. Il associe les ministères chargés de l'Environnement et de l'Agriculture, l'INRA, l'Institut français de l'environnement (IFEN) et l'ADEME. Son dispositif central est un réseau de mesures couvrant le territoire, constitué de sites de prélèvements périodiques disposés sur une maille régulière de 16 x 16 km, soit environ 2 400 sites.



(Photo M. Pitsch, Inra)



(Photo G. Cattiau, Inra)

## CONCLUSION

Après une phase d'oubli au moins relatif, il apparaît de plus en plus clairement impératif de savoir prendre en compte des fonctions du sol dans des décisions auxquelles sont attachés des enjeux de grande importance sociale et économique. Les démarches à mettre en œuvre pour guider ces décisions mettent en jeu une connaissance des sols qui doit être à la fois exhaustive géographiquement, élargie dans son contenu en relation avec la diversité des fonctions environnementales en cause, et adaptée dans sa précision aux différents niveaux de décision intéressés. Elle doit également intégrer les données relatives aux évolutions qualitatives des sols pour apprécier les impacts sur l'environnement ou l'alimentation qui peuvent en résulter, et les dérives susceptibles d'affecter à long terme un patrimoine irremplaçable. Des actions d'envergure nationale sont en cours ou se mettent en place pour répondre à ces besoins. Pour satisfaire efficacement à la nécessité générale d'apprendre ou de réapprendre le sol et de valoriser les outils qui vont être constitués, il convient de les accompagner d'actions de diffusion et d'échanges de compétence entre producteurs et utilisateurs de connaissance sur les sols. Elles doivent s'étendre, au-delà de la sphère professionnelle et administrative de l'agriculture, à celles de la gestion de l'espace rural et de l'environnement. Cette dynamique doit tendre à l'émergence d'un profil de compétence nouveau en expertise et ingénierie agri-environnementale. Associant les capacités d'analyse des processus physiques, techniques et écologiques dans les agrosystèmes, ce nouveau type de métier ne correspond pas à celui d'un pur spécialiste du sol.

Mais la connaissance nécessaire sur les fonctions du sol doit cependant être aussi approfondie que celle de pédologues spécialisés dont la compétence restera par ailleurs nécessaire à la qualité de l'exploitation des bases de données et des modèles.

#### REFERENCES

1. TOURNIER A, DUMOULIN F, PARDOUX JP, LESCAUDRON C (1977). Conduite du blé en Picardie. Rendement ou marge ? Chambre régionale d'Agriculture de Picardie, Amiens.
2. LIMAUX F (1999). *Modélisation des besoins du blé en azote, de la fourniture du sol et de l'utilisation de l'engrais. Application du raisonnement de la fertilisation en Lorraine*. Thèse doctorat INPL.
3. MEYNARD JM (1999). Les règles de modulation pour la fertilisation azotée. Communication au colloque « L'enjeu français de l'agriculture de précision ». Inra-Cemagref-ITCF, SIMA.
4. BUTAULT JP (1998). Coûts de production, productivité et dégressivité temporelle des aides, Inra Sciences sociales. *Recherches en Économie et Sociologie Rurales*, 6.
5. NICOULLAUD B (1988). Un exemple d'aide à la décision en culture légumière de plein champ : choix des parcelles et des calendriers culturaux pour la petite carotte (variété Amsterdam Bak). *Bull Tech Info*, 426-427 : 3-20.
6. MORLAT R (1997). Les facteurs naturels des terroirs viticoles. Méthodologie de leur caractérisation. In : THÉVENET G, RIOU P, eds. *Qualité des sols et qualité des productions agricoles*. Actes des 3<sup>es</sup> rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre, Comifer, Gemas, Paris : 55-65.
7. ROBERT M (1996). *Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement*. Paris : Masson.
8. STENGEL P, GELIN S (1998). *Sol : interface fragile*. Paris : Inra.
9. TESSIER D, BRUAND A, LE BISSONNAIS Y, DAMBRINE E (1996). Qualité chimique et physique des sols : variabilité spatiale et évolution. *Étude et gestion des sols*, 3 : 229-44.
10. BOIFFIN J, STENGEL P (2000). Réapprendre le sol : nouvel enjeu pour l'agriculture et l'espace rural. *DEMETER 2000, Économie et stratégies agricole*, Armand Colin : 147-211.
11. CHAUSSOD R (1996). La qualité biologique des sols : évaluation et implications. *Étude et Gestion des Sols*, 3 : 261-79.