

Informatisation et spatialisation de la ressource sol : le programme « Inventaire, gestion et conservation des sols »

Jean-Claude Favrot, Dominique Arrouays, Michel Bornand, Michel-Claude Girard, Raymond Hardy

La protection des ressources en sols contre l'érosion, la pollution et la salinisation [1] est ressentie comme un objectif prioritaire dans la plupart des pays, et la nécessité de la fonder sur des études pédologiques préalables est tout aussi unanimement admise.

Au cours de ces dernières années, des progrès importants ont été accomplis en la matière. Grâce à une meilleure compréhension de la structuration et du fonctionnement de la couverture pédologique, de nouvelles démarches d'étude [2-4] et de représentation [5-7] ont été proposées. En cartographie, l'adaptation de nouvelles techniques d'investigation (géophysiques, hydrologiques, de télédétection) ont permis de mieux définir et délimiter les unités de sols [8]. Les nouveaux outils statistiques et informatiques

ont été exploités pour classer, stocker, traiter les données pédologiques [9-14].

Cependant, nombre de pays ne disposent pas encore d'une couverture cartographique généralisée et les données existantes ne sont pas toujours facilement mobilisables et exploitables. C'est le cas en France, où seulement la moitié du territoire bénéficie d'un inventaire cartographique. Des efforts sont donc encore à réaliser pour rendre la connaissance des sols plus opérationnelle, c'est-à-dire plus rapidement accessible et plus aisément transposable à des fins techniques.

En particulier, une meilleure aide à la décision doit pouvoir être apportée aux deux principaux niveaux d'intervention habituels :

- celui de la programmation et de la planification régionale de l'usage des sols, qui est le fait de décideurs politiques, administratifs ou professionnels ;
- celui de la gestion parcellaire des sols qui constitue le souci permanent des agriculteurs, aidés en cela par des conseillers et techniciens locaux.

C'est dans ce but qu'a été conçu et mis en œuvre en France, à partir de 1990, à l'initiative conjointe du ministère de l'Agriculture et de l'Inra, un programme national dénommé « Inventaire, gestion et conservation des sols » [15]. Pour cela, des choix ont été faits quant aux modalités de cartographie, puis de structuration et de traitement des données pédologiques, en faisant largement appel aux techniques informatiques modernes. Nous présentons ici les concepts et les résultats de ces travaux.

Le référentiel régional pédologique

Cadre général et objectifs

En France, l'aménagement de l'espace économique repose sur le découpage du territoire national en « régions-programmes », dont la superficie varie de 1 à 5 millions d'hectares. Pour assurer une bonne gestion des ressources en sols de ces territoires, il convient d'en établir l'inventaire pédologique.

La résolution choisie est de l'ordre d'une fosse pédologique décrite et analysée pour 2 000 à 8 000 hectares. L'expression graphique des cartes correspond à l'échelle du 1/250 000. Cette modalité résulte d'un compromis entre deux aspirations :

- acquérir une information suffisante, afin de pouvoir définir effectivement les aptitudes-contraintes et les risques (érosion, pollution) inhérents aux sols et aux eaux en fonction de différents types d'usage des terres (intensification agricole, déprise, épandages, aires de loisir) ;
- réaliser, dans des délais et à des coûts raisonnables, la couverture cartographique de l'ensemble des vingt-deux régions-programmes françaises.

Concept de pédopaysage et démarche cartographique

Pour tenir compte, d'une part, d'une densité nécessairement faible des sites

J.-C. Favrot, M. Bornand : Laboratoire de science du sol, Inra, 2, place Viala, 34060 Montpellier cedex 01, France.

D. Arrouays : Service d'étude des sols et de la carte pédologique de France, Inra, BP 81, 33883 Villenave-d'Ornon cedex, France.

M.-C. Girard : Laboratoire de science des sols et hydrologie, Inra-PG, 78850 Thiverval-Grignon, France.

R. Hardy : Service d'étude des sols et de la carte pédologique de France, Inra, Ardon, 45160 Olivet, France.

Tirés à part : J.-C. Favrot

d'observation sur le terrain (sondages à la tarière, fosses pédologiques) et, d'autre part, des impératifs liés à la représentation graphique (lisibilité des cartes), tout en respectant la nécessité de bien rendre compte du mode de distribution des sols dans l'espace, l'unité cartographique de sols (UCS) retenue pour le découpage régional est celle du pédopaysage (ou unité pédopaysagère [6, 16, 17]).

Une telle unité correspond à un ensemble litho-géomorpho-pédologique cohérent, constituant une association spécifique « d'unités typologiques de sols » (UTS), distribuées dans l'espace le plus souvent selon un motif bien défini dont on sait caractériser l'agencement et les composantes (figures 1 et 2).

Les éléments du paysage (modèle géomorphologique, occupation des sols, lithologie) servent de guide au tracé des limites, [8, 18] et le contenu de l'unité est caractérisé à partir des observations pédologiques (figure 2).

Lors de l'élaboration d'un référentiel régional pédologique, deux situations sont généralement rencontrées : l'existence de zones bénéficiant déjà d'une cartographie des sols à des échelles plus grandes et la présence de territoires vierges de toute investigation. Dans le premier cas, une véritable synthèse est à réaliser ; dans le second, la prospection de terrain doit permettre une caractérisation suffisante des unités typologiques de sols. Dans cet esprit, au regard des interprétations futures (cartes thématiques) autorisées par la carte, trois niveaux (ou labels) sont distingués, notamment en fonction de la densité des sites d'étude (fosses pédologiques décrites et analysées) et de la superficie déjà étudiée plus en détail :

– un niveau minimal (label bas) désigné par le terme « reconnaissance régionale pédologique », lorsqu'il n'y a pas plus d'un site d'étude pour 8 000 hectares non encore cartographiés ;

– un niveau moyen, dit « esquisse régionale pédologique », lorsqu'il y a un site pour 4 000 hectares environ ;

– un niveau supérieur, correspondant à la « carte régionale pédologique », lorsqu'il y a au moins un site pour 2 000 hectares.

À titre indicatif, pour la réalisation de la « carte régionale pédologique » des 2 780 000 hectares du Languedoc-Roussillon, il a fallu prospecter 1 480 000 hectares (1 200 sites) et synthétiser les données existant sur 1 300 000 hectares (1 250 sites, issus de 220 études répertoriées).

Au total, 82 petites régions naturelles pédologiques ont été définies à partir de 370 unités cartographiques, elles-mêmes réparties en 4 150 plages cartographiques [19].

• Traitement numérique des informations spatialisées, conception d'une banque régionale de données « sols »

Les bases de données standardisées associées aux « systèmes d'information géographique » (SIG) ne sont pas adaptées à la complexité des paramètres de description et d'organisation des sols au sein des paysages pédologiques. Aussi, pour rendre facilement accessibles et rapidement interprétables les données sols, un modèle informatique de structuration a été élaboré. Il intègre à la fois les données graphiques, constituées des limites des unités cartographiques et des points matérialisant l'emplacement des sites d'observation, ainsi que les données sémantiques correspondant aux différents caractères descriptifs (morphologiques, analytiques) des unités et des sites ponctuels d'observation [13].

• Gestion des données sémantiques

La structure logique retenue dans le cadre du programme IGCS pour organiser les données dans la banque est le projet Donesol, réalisé par l'Inra [12]. Conçu pour toutes les échelles de cartographie, il s'agit d'un outil de saisie, de stockage et de gestion de l'information, de type « base de données relationnelles » (figure 3). Il comprend un système descripteur avec vocabulaire adapté, des données ponctuelles (intégrant le système existant STIPA [10]), ainsi que des données relatives aux UCS, UTS et strates, une notice d'emploi, des fiches et des écrans de saisie, ainsi que des menus d'interrogation. Il est prévu pour fonctionner sur station Unix, avec Oracle comme logiciel support.

L'entité de description de base est la strate, correspondant à un ou plusieurs horizons, dont tous les caractères sont codés (caractères qualificatifs, ordonnés ou non), ou représentés par des variables numériques continues (caractères quantitatifs). Pour chaque strate et chaque caractère, il est possible d'indiquer des valeurs moyennes ou modales, ainsi que des valeurs précisant la variabilité ou l'étendue des caractères (valeurs extrêmes par exemple) au sein de l'unité typologique de sol.

Une succession particulière de strates (d'horizons) détermine une UTS (figure

2), caractérisée par toute une série de paramètres spécifiques (classification [21, 34], géologie, régime hydrique, etc.).

L'UCS, définie par la nature et le nombre d'UTS qui la composent, ainsi que par leurs pourcentages respectifs en surface, est également décrite par des paramètres indiquant leur mode de répartition, la nature de leurs transitions, etc.

Outre ces données relatives à la caractérisation des unités typologiques (descriptions morphologiques et analytiques) et des unités cartographiques (nature et répartition des UTS), il est possible d'enregistrer également des données relatives au relief général (altitude, pente) et aux paysages (parcellaire, occupation des sols) qui permettent de mieux exprimer le contexte relatif à l'environnement géographique des unités de pédopaysages.

La base de données est évolutive : elle peut s'enrichir d'informations provenant de documents antérieurs (informatisation de données anciennes) ou issues de travaux nouveaux (mise à jour régulière).

• Gestion des données graphiques

Donesol est associé à un SIG qui sert d'outil pour les fonctions d'analyse et de modélisation spatiales, ainsi que pour la production de sorties cartographiques, ce qui permet la saisie, le traitement et la restitution graphique des contours, tout comme la localisation des sites d'observation. Toutes ces informations géographiques sont reliées à Donesol par des identificateurs spécifiques (numéro d'études et/ou de profils, nom d'unité cartographique, etc.). Une interface entre Oracle et SIG permet d'automatiser les transferts d'informations de la base sémantique vers la base graphique (figure 4).

Exemples d'applications d'un référentiel régional pédologique

Plusieurs régions-programmes et départements français bénéficient d'un inventaire de leurs unités de pédopaysages. À partir de ces données, associées ou non à d'autres informations, il a été possible de répondre, rapidement, à diverses questions ayant trait à l'utilisation des sols. L'élaboration de cartes thématiques tient compte de la proportion relative des différentes unités de sols au sein des unités de pédopaysages.

Figure 1. Extrait de la carte régionale pédologique du Languedoc-Roussillon au 1/250 000 (Bornand *et al.* [19]). Délimitation de la petite région naturelle « moyenne vallée de l'Hérault » et localisation du secteur de référence correspondant. Exemples d'unités cartographiques de sols (173 A, 309 A...) représentant les principales unités pédo paysagères.

Figure 1. Extract from the Languedoc-Roussillon regional soil map (1/250 000) with boundaries of the small natural area, the « moyenne vallée de l'Hérault », and location of corresponding reference area. Examples of soil map units (173 A, 309 A, etc.) from main soilscape units.

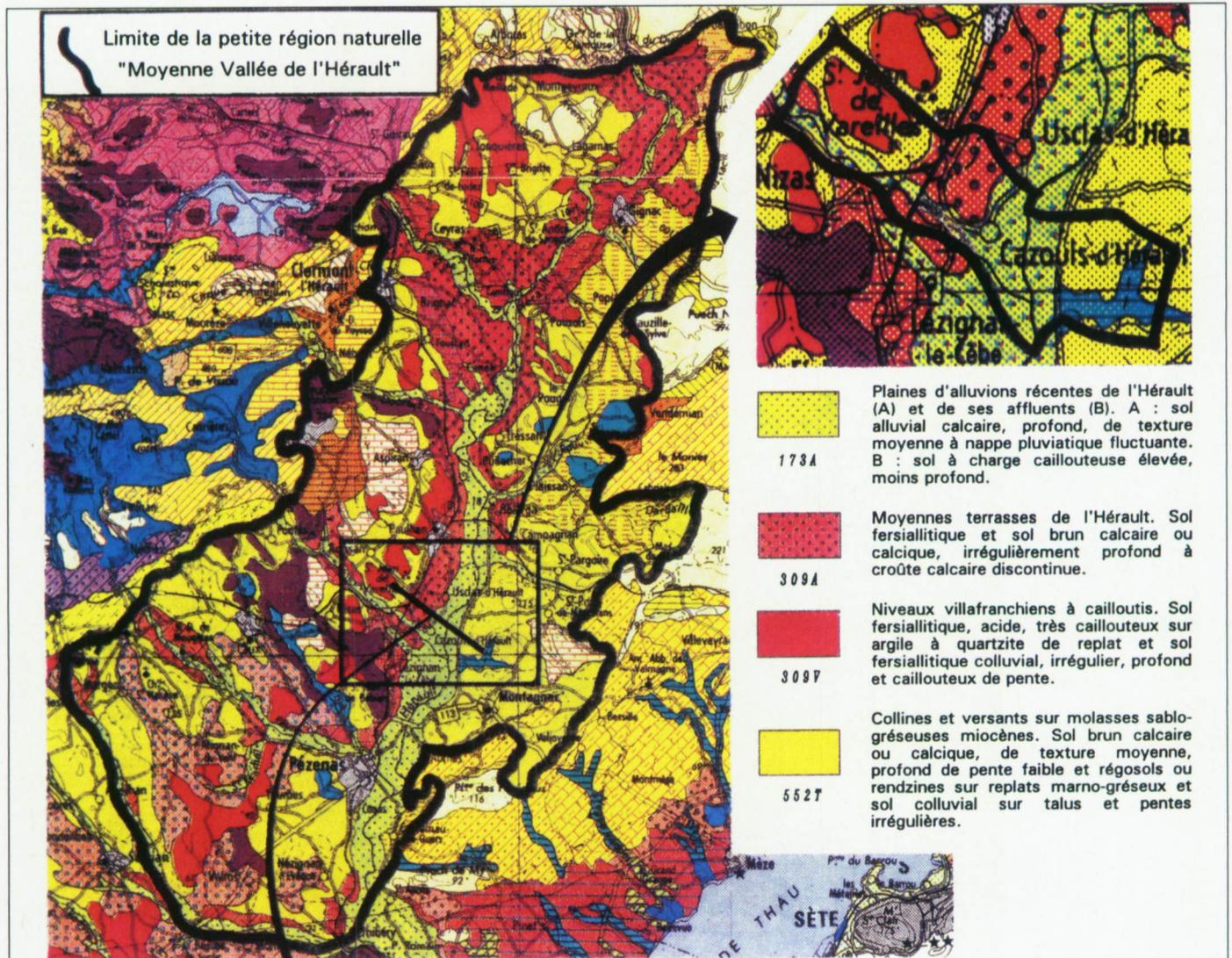
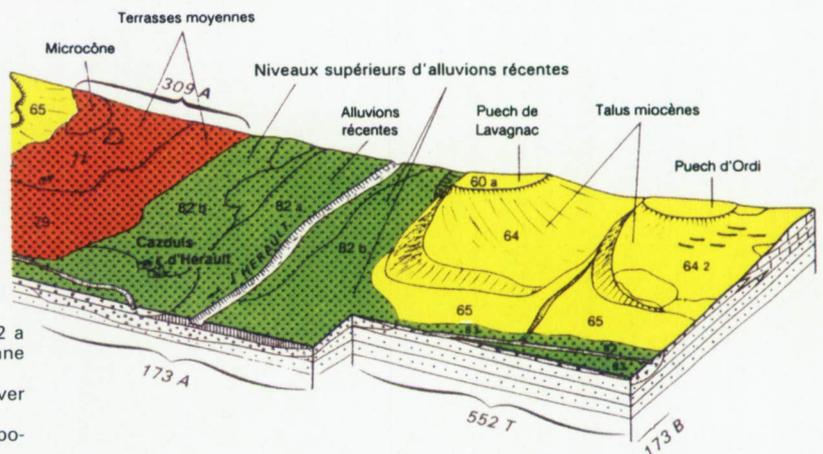
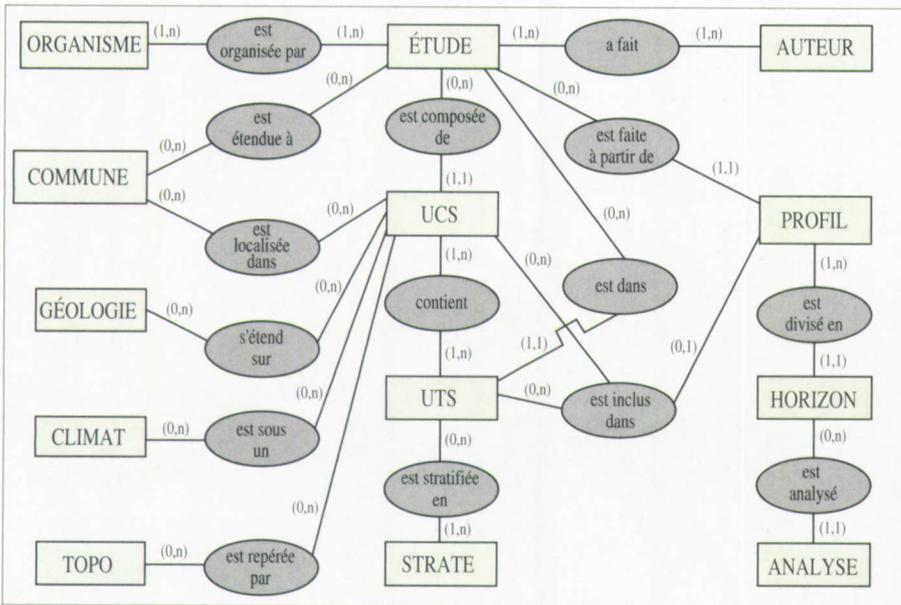


Figure 2. Exemple d'organisation spatiale de deux unités typologiques de sols (82 a, 82 b), au sein d'une unité cartographique de sol (173 A) dans la moyenne vallée de l'Hérault. 82 a : sols limoneux profonds, généralement calcaires, du lit majeur de l'Hérault. 82 b : sols limono-argileux, profonds, des niveaux supérieurs d'alluvions récentes de l'Hérault.

Figure 2. Spatial organisation of two soil type units (82 a and 82 b) within a soil map unit (173 A) in the « moyenne vallée de l'Hérault » small natural area. 82 a : thick calcareous loamy soils from the Hérault river bed. 82 b : thick loamy-clayey soils from recent alluvial deposits in the Hérault river.





◀ **Figure 3.** Modèle conceptuel de données de Donesol (d'après Gaultier *et al.* [12]).

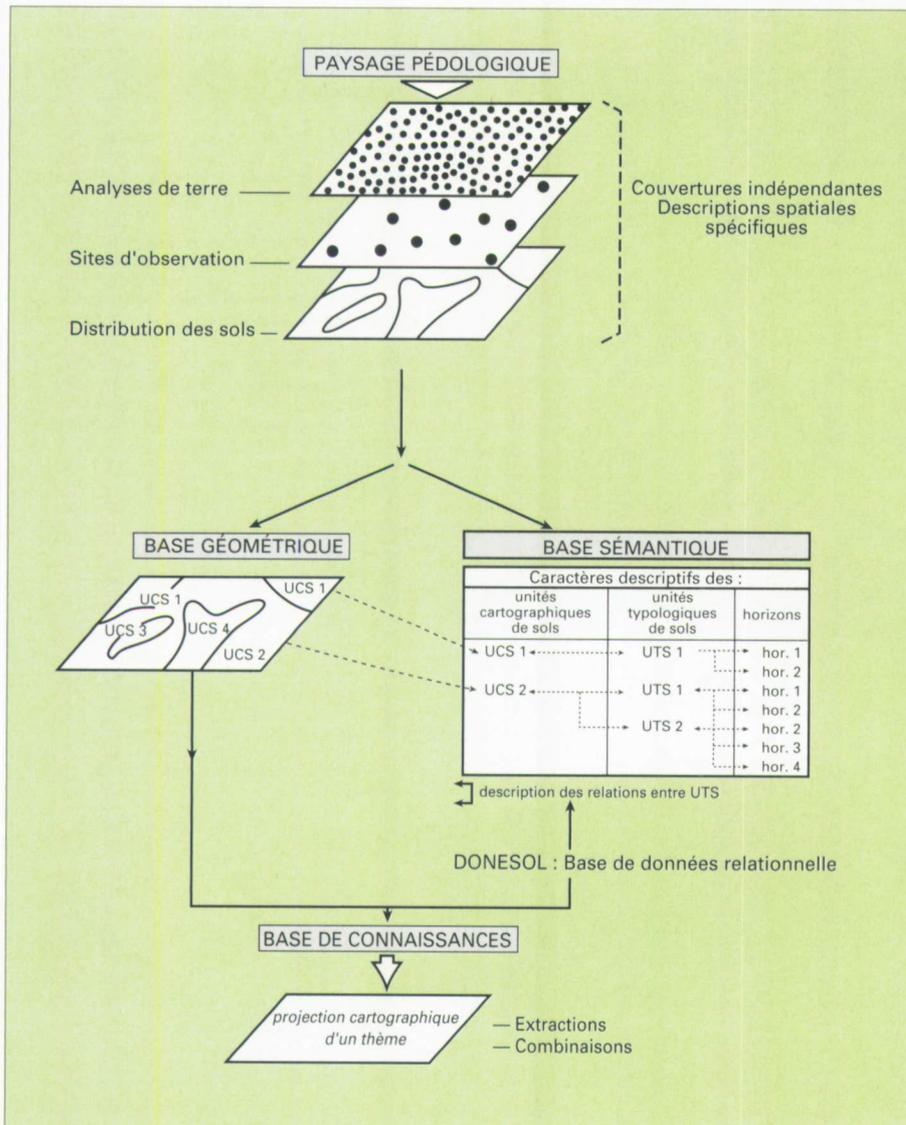
Figure 3. Data relationships in the Donesol conceptual model.

Trois niveaux croissants de complexité peuvent être distingués lors de la production de documents cartographiques orientés vers des problèmes d'aménagement et de développement.

Le niveau le plus simple (cartes factorielles) correspond à une extraction monofactorielle, permettant de visualiser la répartition spatiale de caractères importants pour la mise en valeur agricole : carte des textures dominantes, carte de la profondeur des sols, etc.

Le second niveau (cartes plurifactorielles) implique la combinaison de plusieurs paramètres pédologiques. C'est le cas, par exemple, de la représentation spatiale de la réserve utile (théorique) en eau des sols. Celle-ci est obtenue en combinant profondeur utile, densité apparente, teneurs en eau à la capacité de rétention et au point de flétrissement. Ce document permet de déduire – de manière approchée – la répartition spatiale des risques de sécheresse d'une culture d'été, en fonction des caractéristiques d'une année climatique moyenne ou particulière. L'interprétation des caractéristiques hydriques des sols peut aussi se traduire par une carte de vulnérabilité du milieu aux risques de pollution des eaux (profondes ou de surface), en fonction des possibilités de transferts verticaux ou latéraux de solutés (polluants) [18].

Enfin, le niveau le plus complexe résulte du croisement de données d'origines différentes. Premier exemple, en Languedoc [19, 20], une carte des possibilités d'épandage de composts urbains a été réalisée par combinaison de quatre groupes de critères : pédologiques (profondeur, perméabilité des sols), topographiques (pentes), occupation du sol (garigues, vignes, céréales) et économiques



◀ **Figure 4.** Structure d'une banque de données « sols » régionale. Articulation des données sémantiques et graphiques (d'après King *et al.* [23]).

Figure 4. Organisation of a regional soil database. Structural principles of the graphical and semantic database.

Summary

Computerisation and spatial analysis of soil resources : the French programme for inventory, management and conservation of soils

J.C. Favrot, D. Arrouays, M. Bornand, M.C. Girard, R. Hardy

Management and conservation of natural resources involve knowledge of soil types and distribution. In 1990, the French Ministry of Agriculture and the National Institute of Agronomic Research (Inra) launched a national programme called « Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS) » (Inventory, Management and Conservation of Soils).

Two levels of investigation were associated in the methodology: « regional land-use planning » and « soil management and agricultural practice at the farmer and field level ».

This required the establishment of a regional soil database, involving land surveys of large areas at a scale of 1/250,000. Natural units were differentiated according to landscape, lithology, climate, land-use and vegetation, and thus led to the concept of soilscape units (figs 1 and 2).

Soilscape units are composed of various soil types in specific and repetitive spatial arrangements. A specific soil database, Donesol (fig. 3), was linked to a geographical information system for data storage and handling and for graphical restitutions (fig. 4). This enabled thematic maps to be produced by extracting a simple soil characteristic (i.e. soil texture), combining different soil characteristics (i.e. soil available-water capacity) or by overlaying soil data with other kinds of information (i.e. land suitability for urban compost sewerage or crop diversification, assessment on soil erosion, etc., fig. 5).

On the second level - soil management at the field level - the method of « reference areas » was applied. This was based (fig. 6) on detailed mapping of a typical sample area (1000 ha) to determine the spatial organisation of soils within a small, pedologically-defined natural region (approx. 30,000 ha). Soil surveys, physical and chemical analyses and hydrodynamic characterisations were compared to a critical results analysis of regional practices (drainage, irrigation, cropping system, etc.). If necessary, this could be complemented by setting up and monitoring an experimental system enabling a directory of regional soils to be drawn up (figs 7 and 8) in which agronomic and technical recommendations may be linked to each soil unit. Hence, after the soil units have been identified at plot level, the recommendations can be applied to each newly surveyed field (« back to the field »).

The « reference areas » method was used successfully in France for soil drainage in about one hundred small natural regions, covering 3,000,000 ha. Since 1990, it has also been applied to irrigation management.

In France, the IGCS programme is applied at the regional level through agreements and cooperation between the various players involved in managing farmland.

Cahiers Agricultures 1994 ; 3 : 237-46.

(coût du transport lié à la distance des terres à l'atelier de production des composts) (figure 5). Dans la même région, une carte des possibilités de diversification des cultures après arrachage de la vigne a pu être aussi élaborée. Plusieurs couches d'informations ont été croisées. Elles concernent les sols et le climat (adaptabilité des cultures envisagées aux exigences pédoclimatiques), le foncier (parcellaire), l'aménagement hydraulique (proximité de ressources en eau d'irrigation), le contexte socio-économique (technicité et succession des exploitants), l'occupation des sols (présence ou absence de vignobles d'appellation contrôlée), etc. [19]. Dans une autre région, dans le Loiret, un zonage de l'aptitude des sols à la production de taillis à courte rotation (peupliers, séquoias) a pu être effectué avec la participation d'un expert forestier [22]. Dans la région Nord - Pas-de-Calais, un zonage de la sensibilité à l'érosion des sols a été obtenu en croisant des données relatives à la texture des sols (référentiel régional), avec l'occupation des sols (télédétection, statistiques agricoles communales) et avec la délimitation de bassins versants de différents types (modèles numériques de terrain) [23]. Enfin, une carte de la vulnérabilité des eaux de surface aux risques de pollution par l'atrazine (Île-de-France) et une carte des possibilités d'épandage de vidanges domestiques (Yonne) ont aussi été réalisées [18].

Secteurs de référence et gestion parcellaire des sols

Objectifs et principe de la démarche

Pour l'agriculteur, au niveau de son exploitation, l'objectif est d'apporter une aide concrète et opérationnelle en vue d'un choix raisonné de spéculations, d'itinéraires techniques et d'aménagements fonciers. Il s'agit de permettre une amélioration de la productivité des terres, ou du revenu, sans entraîner une perte de la fertilité physique ou chimique du sol, ni d'autres conséquences nuisibles pour l'environnement.



ZONES APTES À LA RÉCEPTION DU COMPOST

- Valorisation de terres de bonne qualité.
- Valorisation de terres de bonne qualité, présence de cailloux.
- Amélioration de terres de moyenne qualité.
- Amélioration de terres de moyenne qualité, sols peu profonds et présence de cailloux.

ZONES INUTILISABLES

- Zones non cultivées, terrains à fortes contraintes (sols très peu profonds, pierrosité très élevée, discontinuités).

Figure 5. Carte des possibilités d'épandage des composts urbains dans la moyenne vallée de l'Hérault (d'après Legros *et al.* [20]).

Figure 5. Map of land suitability for urban compost spreading in the « moyenne vallée de l'Hérault » small natural area.

Cet objectif nécessite deux types d'interventions :

- l'acquisition de données précises sur la nature et la distribution des sols de l'exploitation agricole. L'unité cartographique de base, homogène sur les plans de la nature et du type de superposition des horizons ainsi que des caractéristiques hydriques, est considérée égale-

ment comme homogène au niveau agronomique ;

- la recherche de références agronomiques et/ou techniques garantissant la bonne interprétation des données pédologiques en termes de recommandations efficaces. On entend ici par « références » des connaissances opérationnelles – obtenues selon un protocole et dans un cadre

agro-pédo-climatique bien définis – traduisant, par exemple, les effets, l'efficacité et la pérennité de telle technique culturale ou de tel type d'aménagement sur le sol, le cycle végétal et la productivité d'une culture.

Face à cette double nécessité – dans un contexte de coût et de délais raisonnables – une stratégie d'étude des sols à grande échelle a été proposée : la méthode des « secteurs de référence » [4, 24]. D'abord conçue pour la conduite des études préalables au drainage (figure 6), elle est maintenant appliquée aussi à d'autres objectifs.

L'idée centrale de la méthode est d'établir d'abord, pour un territoire bien identifié et à partir de la cartographie détaillée d'une « aire échantillon », un modèle d'organisation régionale des sols représentant la structure et le fonctionnement de la couverture pédologique de cet espace. L'entité territoriale retenue est le pédopaysage ou petite région naturelle (pédologique). Elle correspond à un système litho-stratigraphique unique, présente un modelé topographique défini et sa couverture pédologique comprend un nombre limité de sols, distribués spatialement selon des motifs répétitifs répondant à des règles de répartition spécifiques. La délimitation d'une petite région naturelle découle directement du référentiel régional pédologique (figure 1).

En France, les petites régions naturelles déjà étudiées couvrent une superficie de l'ordre de 30 000 hectares et comprennent, en moyenne, une trentaine d'unités de sols. En matière de développement agricole, ces entités territoriales – qui ont la taille d'un ou deux cantons – constituent un cadre favorable aux actions de formation et d'information des agriculteurs. Ces derniers sont en effet très réceptifs à des références pédo-agro-économiques obtenues dans un milieu qui leur est familier.

Acquisition des données et « retour à la parcelle »

La méthode proposée comprend une phase d'acquisition suivie d'une phase de valorisation des informations pédologiques (figure 6).

L'acquisition des données comporte la cartographie à l'échelle du 1/10 000 et la caractérisation approfondie (morphologique, physico-chimique, hydrodynamique)

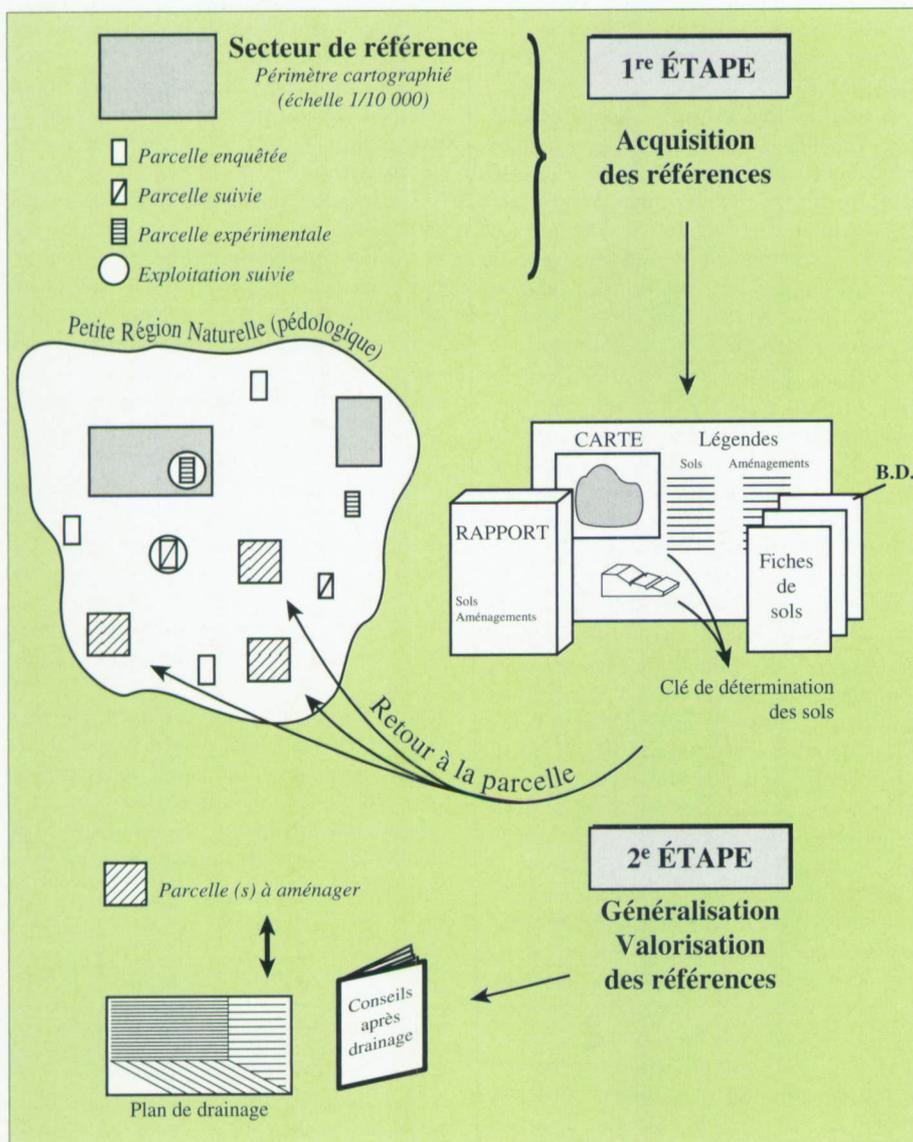


Figure 6. Principe et étapes de la méthode des secteurs de référence.

Figure 6. Principle and stages of the reference area method.

mique) des sols d'un secteur de référence de 1 000 hectares environ, représentatif de la petite région naturelle (figure 7). Cette approche est complétée par une analyse critique des résultats d'expériences régionales (enquêtes sur le fonctionnement des réseaux de drainage préexistants, par exemple) et, si nécessaire, par l'installation de dispositifs expérimentaux. Toutes ces données aboutissent à l'élaboration d'un fichier des sols régionaux avec, pour chacun d'eux, un ensemble de conseils associés. Ceux-ci prennent la forme de recommandations techniques et agronomiques, utilisables

pour la conception de projets d'aménagement et pour la conduite des terres aménagées.

La deuxième étape consiste, pour toute parcelle de la petite région naturelle où un agriculteur envisage une utilisation ou un aménagement particulier, en une prospection de terrain « allégée ». Cette dernière conduit à la délimitation des unités de sols présentes puis à leur rattachement aux unités répertoriées dans l'aire échantillon. Ceci permet d'appliquer les conseils préalablement élaborés, en respectant le principe « à unités de sols et à conditions culturelles semblables,

recommandations semblables » ; cette opération est appelée « retour à la parcelle ».

La restitution des données d'une étude de secteur de référence comprend la diffusion d'un dossier détaillé à usage des techniciens et la distribution d'une plaquette simplifiée destinée aux agriculteurs. Des tournées de terrains sont organisées pour les techniciens, conseillers et agriculteurs régionaux [7]. Sur le plan national, pour organiser, classer et diffuser les principales informations acquises, une banque de données a été élaborée, comportant quatre fichiers : répertoire, unité, profil, conseils [25]. Elle est compatible avec Donesol [12].

Applications

La méthode des « secteurs de référence » a d'abord été appliquée en France pour des programmes de drainage agricole. L'objectif était de proposer, pour les différentes unités de sols d'une petite région naturelle, des recommandations agro-techniques concrètes. Celles-ci portaient sur le mode de drainage (drains, fossés, techniques associées), les matériaux à utiliser (drains nus ou enrobés, remblai poreux), le matériel conseillé (draineuse-trancheuse ou draineuse sous-soleuse), le dimensionnement des réseaux (profondeur, écartement des drains), les systèmes de culture, les itinéraires techniques, etc. Au cours d'une opération nationale, financée par le ministère de l'Agriculture et l'Office national interprofessionnel des céréales, entre 1980 et 1986, soixante-dix secteurs de référence ont été étudiés, représentatifs d'une superficie totale de 2 millions d'hectares [26]. Par la suite, une trentaine d'autres petites régions, en France et outre-mer, ont fait l'objet d'études comparables. Un volet agro-économique, centré sur une typologie du fonctionnement des exploitations agricoles et permettant d'évaluer leurs possibilités de valorisation de l'investissement drainage, complétait l'étude pédologique. Depuis 1990, une opération « secteurs de référence irrigation » a été lancée par le ministère de l'Agriculture, en association avec des collectivités territoriales [27]. Dans ce cadre, la connaissance des sols vise un double enjeu : améliorer la productivité des terres par des techniques culturales pertinentes et par des aménagements n'altérant pas la qualité des sols, et gérer au mieux des ressources régio-

nales en eau, de volumes souvent limités et soumises à des risques de pollution diversifiés et croissants. La conception de nouveaux équipements d'arrosage ou une meilleure valorisation des réseaux existants nécessite donc une réflexion régionale globale faisant intervenir de multiples données, d'ordre agronomique, pédo-climatique, technologique, économique et environnemental. Le volet pédologique s'inscrit donc dans un contexte pluridisciplinaire très large pour apporter aux agriculteurs des références agro-économiques qui leur permettront de décider, choisir et conduire les modalités d'arrosage, et pour fournir aux décideurs des éléments de choix portant sur la stratégie d'aménagement régional.

Depuis quelques années, d'autres thèmes, notamment l'agronomie, ont été également à l'origine d'études de secteurs de référence [28] (figure 8).

Enfin, des recherches en cours permettent d'envisager à terme l'automatisation du « retour à la parcelle », en formalisant et exploitant les lois chorologiques qui traduisent les liens existant entre la nature des sols et leur distribution spatiale [18, 29].

Conclusion

Le programme national français « Inventaire, gestion et conservation des sols » est construit autour de deux objectifs principaux :

- compléter et harmoniser, dans un délai raisonnable, la connaissance des sols de l'ensemble du territoire, afin de permettre la programmation et la planification raisonnées de leurs usages à un niveau régional ;
- contribuer à une meilleure gestion parcellaire des sols à l'échelle des exploitations agricoles.

Un canevas méthodologique rigoureux a été élaboré pour la réalisation de ces actions à deux niveaux complémentaires. Le « référentiel régional pédologique » est construit sur la base d'un inventaire cartographique des pédopaysages à l'échelle du 1/250 000 ; l'ensemble des données est géré au sein d'un système d'information géographique grâce à Donesol, modèle conceptuel d'organisation des données pédologiques. Par ailleurs, le « secteur de référence » permet l'acquisition de connaissances détaillées sur le fonctionnement des sols et genre des

recommandations à la parcelle, grâce aux données acquises à partir des secteurs représentatifs.

L'ensemble des données acquises aux deux échelles est géré au sein de systèmes informatiques compatibles. Ceci permet, outre les fonctions classiques de gestion, de consultation et de mise à jour de ces bases, l'extraction des données sols et leur croisement avec des données extrinsèques, pour la production de sorties thématiques graphiques à la demande.

En France, plusieurs régions bénéficient maintenant d'un référentiel régional pédologique et d'études de secteurs de référence. Ce programme est aussi à l'origine de projets de SIG pluridisciplinaires (climat, géologie, relief, foncier, socio-économie), destinés à une approche encore plus large et plus intégrée de la gestion de l'espace.

Hors de France, le cadre méthodologique proposé pour la caractérisation spatiale de la ressource sol tend à se généraliser dans les pays développés et particulièrement au sein de l'Union européenne [30]. Il pourra aussi être étendu aux pays en développement dont la gestion de l'espace mérite tout autant qu'ailleurs un argumentaire pédologique fiable et opérationnel. L'outil conceptuel proposé paraît en effet leur convenir également dans la mesure où, tout en limitant les coûts d'acquisition des données, il permet aussi de formuler des réponses rapides aux problèmes d'usages des sols et ce, en fonction d'une conjoncture économique souvent fluctuante dans ces pays.

Dans le détail, la constitution de référentiels régionaux pédologiques apparaît tout particulièrement adaptée aux milieux arides et tropicaux car :

- différents indicateurs et révélateurs de la variabilité spatiale des sols y présentent une efficacité maximale, telle que la télédétection [31-34] ou la géomorphologie [35] ;
- le coût en est relativement modeste, eu égard à son utilité pour une gestion globale des territoires [36].

De même, l'application dans ces milieux de la méthode des secteurs de référence, malgré les moyens financiers qu'elle implique, permettrait de limiter la dégradation, voire la stérilisation, des terres, souvent observées à la suite de l'utilisation inadéquate d'aménagements. Cela supposera une finalisation de cette démarche vers des problématiques concrètes telles que la conduite des irri-

gations, la lutte contre la salinisation ou la gestion des parcours.

La généralisation de la démarche aux pays en développement suppose aussi la réalisation - très possible - d'autres conditions :

- l'adaptation des concepts de pédopaysages aux réalités géo-physiographiques et socio-économiques propres à chaque pays, en tenant compte de l'expérience déjà acquise [3] ;

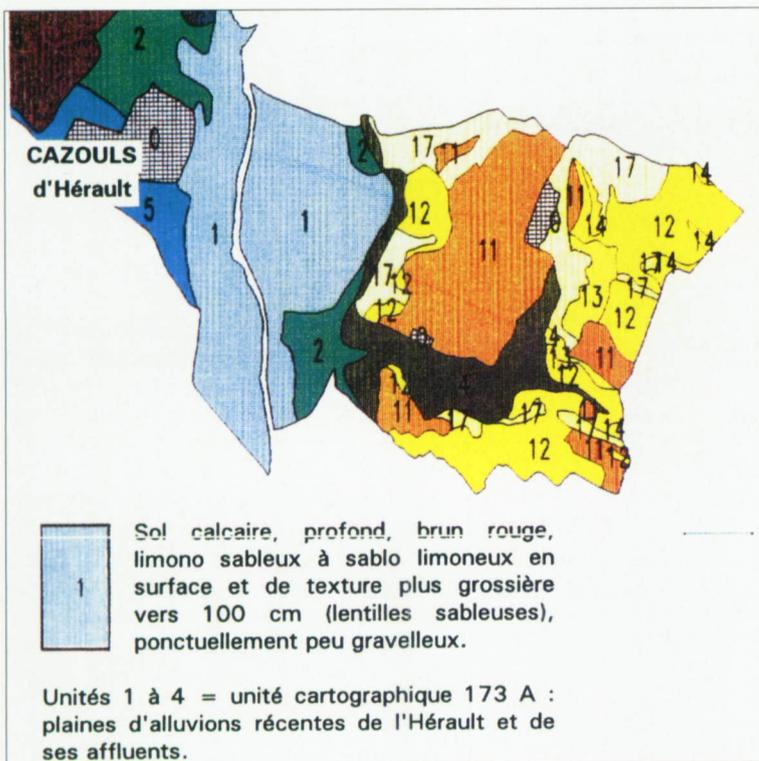
- la définition, dans chaque pays, d'un cadre administratif et technique « régional » qui soit véritablement opérationnel pour le recueil, le traitement et la diffusion de données pédologiques ;

- la mobilisation de moyens financiers suffisants pour acquérir le matériel informatique nécessaire et assurer la formation des hommes à leur utilisation, ce type d'investissement devant être d'ailleurs largement rentabilisé à terme et bien au-delà du seul domaine pédologique.

Enfin, l'application de ces outils de gestion de l'espace aux pays en développement comportera une part importante de concertations et de négociations pour les adapter effectivement aux objectifs fixés par les décideurs en charge de cette gestion ■

Références

1. Robert M. Le sol, ressource naturelle à préserver pour la production et l'environnement. *Cahiers Agricultures* 1992 ; 1 : 20-34.
2. Boulet R, Humbel FX, Lucas Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie. *Cahiers Orstom, Pédologie* 1978 ; 4 : 309-51.
3. Brabant P. La cartographie des sols dans les régions tropicales : une procédure à 5 niveaux coordonnés. *Science du Sol* 1989 ; 27 : 369-94.
4. Favrot JC. Une stratégie d'inventaire cartographique à grande échelle : la méthode des secteurs de référence. *Science du Sol* 1989 ; 27 : 351-68.
5. Jamagne M, Begon JC, Bornand M, Hardy R. Évolution dans la conception et dans l'utilisation des données du milieu physique. *CR Acad Agric Fr* 1989 ; 75 : 33-46.
6. Girard MC. *Recherche d'une modélisation en vue d'une représentation spatiale de la couverture pédologique*. Grignon : thèse d'État, Ina-Pg Sols, 1983 ; 12 ; 430 p.
7. Lagacherie P, Favrot JC. La valorisation de l'information pédologique : l'exemple des secteurs de référence-drainage. *Science du Sol* 1989 ; 27 : 109-12.
8. Girard MC, Girard CM. *Télédétection appliquée. Zones tempérées et intertropicales*. Paris : Masson, 1989 ; 260 p.
9. Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Advances in Soil Science* 1985 ; 3 : 1-70.



◀ **Figure 7.** Extrait de la carte des sols du secteur de référence de la moyenne vallée de l'Hérault (d'après Lagacherie [29]). Relations avec le référentiel régional pédologique.

Figure 7. Extract from the reference area soil map (« moyenne vallée de l'Hérault »). Relationship with the regional area references.

10. Bertrand R, Bonneric P, Falipou P, Legros JP, Navarro R. *STIPA : système de transfert de l'information pédologique et agronomique*. Paris : ACCT, 1984 ; 83 et 136 p.

11. Burrough PA. Modelling land qualities in space and time : the role of geographical information systems. In : Bouma J, Bregt AK, eds. *Land qualities in space and time*. Proceedings of a symposium organized by the International Society of Soil Science (ISSS), Wageningen, Pays-Bas, 22-26 août 1988 : 45-59.

12. Gaultier JP, Legros JP, Bornand M, King D, Favrot JC, Hardy R. L'organisation des données pédologiques spatialisées : le projet Donesol. *Revue de Géomatique* 1993 ; 3 : 235-53.

13. Girard MC, Aurousseau P, King D, Legros JP. Apport de l'informatique à l'analyse spatiale de la couverture pédologique et à l'exploitation des cartes. *Science du Sol* 1989 ; 27 : 335-50.

14. King D. *Modélisation cartographique du comportement des sols basée sur la mise en valeur du « Marais de Rochefort »*. Versailles : thèse de docteur-ingénieur Ina-Pg-Inra, 1986 ; 173 p.

15. IGCS. *Cahier des clauses techniques générales et Cahier des charges déontologiques*. Document multigrade. Paris : DERF, ministère de l'Agriculture, 1993 ; 12 p. et 11 p.

16. Arrouays D, Hardy R. Le programme Inventaire, gestion et conservation des sols, Application dans la région landaise. *Revue École Sup Agric Purpan* 1993 ; 166 : 5-14.

17. Bornand M, Arrouays D, Baize D, Jamagne M. Cadre méthodologique d'une cartographie régionale des sols à l'échelle 1/250 000. *Science du Sol* 1989 ; 27 : 17-20.

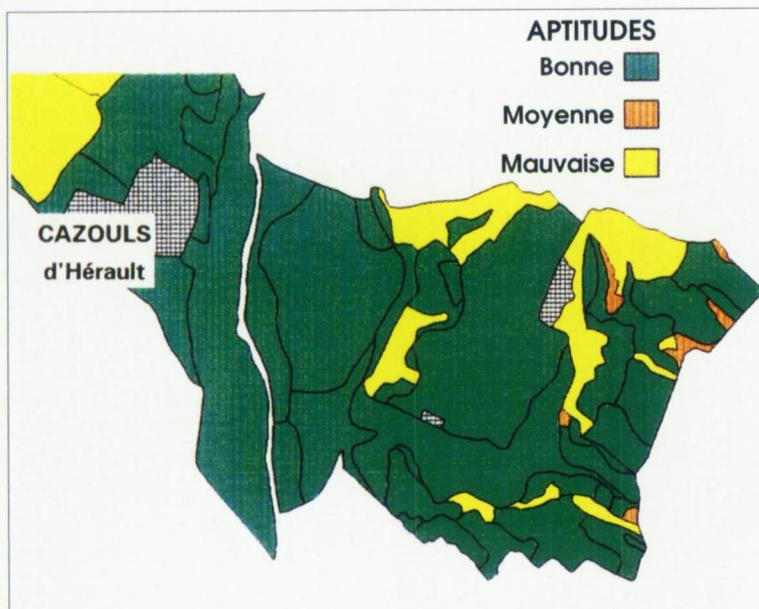
18. Girard MC, Soyeux E, Bornand M, Yongcharlarmchai C. Structuration de l'espace régional et protection des ressources naturelles. *CR Acad Agric Fr* 1993 ; 79 : 37-50.

19. Bornand M, Legros JP, Rouzet C. La banque de données des sols régionaux du Languedoc-Roussillon. Présentation, conception et possibilités d'exploitation. *Revue École Sup Agric Purpan* 1993 ; 166 : 15-22.

20. Legros JP, Bornand M, de Viron JC. Recherche des zones aptes à l'épandage de composts urbains dans la région de Montpellier (Hérault, France). In : *Gestion de l'espace rural et SIG*. Coll. Florac. Versailles : Inra, 1992 : 229-39.

21. AFES. *Référentiel pédologique. Principaux sols d'Europe*. Versailles : Inra, 1992 ; 222 p.

22. Arrouays D, Bouvarel L. *Carte d'aptitude à la production de taillis à courte rotation à base de séquoias et de peupliers*. Département du Loiret. Orléans : Inra-SESCPF, 1990 : 2 cartes à 1/250 000.



▲ **Figure 8.** Diversification des cultures après vigne : extrait de la carte d'aptitude au blé dur du secteur de référence de la moyenne vallée de l'Hérault (d'après Lagacherie [29]).

Figure 8. Crop diversification after up-rooting of vineyards : map of land suitability to wheat of the reference area (« moyenne vallée de l'Hérault »).

23. King D, Le Bissonnais Y, Hardy R, Eimberk M, King C. Combinaison spatiale d'informations pour l'évaluation des risques de ruissellement à l'échelle régionale. In : *Gestion de l'espace rural et SIG*. Coll. Florac. Versailles : Inra, 1992 : 146-56.

24. Favrot JC. Pour une approche raisonnée du drainage agricole en France. La méthode des secteurs de référence. *CR Acad Agric Fr* 1981 ; 67 : 716-23.

25. Favrot JC, Zimmer D, Perrin P. La base de données « sols-drainage » : vers un outil pour une gestion parcellaire des sols. *Bull Tech Info* 1991 ; 4 : 11-6.

26. Favrot JC. Études et recommandations préalables au drainage : la méthode des secteurs de référence. Enseignements et prolongements de l'opération drainage ONIC. Ministère de l'Agriculture (1980-1985). *CR Acad Agric Fr* 1987 ; 73 : 23-32.

27. Favrot JC. Secteurs de référence et gestion parcellaire des sols. L'exemple de l'irrigation. *Revue École Sup Agric Purpan* 1993 ; 166 : 37-45.

28. Rondeau M. *Secteur de référence agropédologique du pays Haut Lorrain*. Nancy : Ensaia-INPL, 1989 ; 105 p.

29. Lagacherie P. *Formalisation des lois de distribution des sols pour automatiser la cartographie pédologique à partir d'un secteur pris comme référence*. Thèse de doctorat, Science du sol, Université Montpellier. Montpellier : Inra, 1992 ; 175 p.

30. Jamagne M, King D, Daroussin J, Lebas C. Évolution et état actuel des programmes européens de connaissance et de gestion des sols. *Bull Rech Agron Gembloux* 1993 ; 28 : 135-63.

31. Satterwhite MB, Henley JP. Spectral characteristics of selected soils and vegetation in northern Nevada and their discrimination using band ratio techniques. *Remote Sens Environ* 1987 ; 23 : 155-75.

32. Madeira J. *Étude quantitative des relations constituants minéralogiques-réflectance diffuse des latosols brésiliens. Application à l'utilisation pédologique des données satellitaires TM (région de Brasilia)*. Thèse de doctorat. Paris : Université Pierre-et-Marie Curie, 1991 ; 232 p.

33. Escadafal R. Télédétection de la surface des sols arides. Concepts et applications. In : Le Floc'h E, Grouzis M, Cornet A, Bille JC, eds. *L'aridité, une contrainte au développement. Caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés*. Coll. Didactiques. Paris : Orstom, 1992 : 105-21.

34. Balde Y, Girard MC. Classification des sols de Guinée (2^e approximation) et leur évaluation en vue d'une utilisation agricole. *Bull Senasol* 1983 ; 8 : 34 p.

35. Dalal-Clayton DB, Robinson DA. An assessment of the success of a geomorphologically based, reconnaissance soil survey in eastern Zambia. *Geoderma* 1992 ; 34 : 213-30.

36. Beckett PHT. The cost effectiveness of soil survey. *Outlook Agric* 1971 ; 6 : 191-8.

Résumé

La connaissance opérationnelle de la nature et de la distribution des sols à l'échelle des paysages constitue l'un des préalables indispensables à leur utilisation raisonnée et à leur protection. Le programme « Inventaire, gestion et conservation des sols de France », engagé en 1990, vise la connaissance des sols à deux niveaux d'actions complémentaires : la programmation régionale et la gestion parcellaire. Pour le niveau régional, la méthodologie est basée sur un découpage de la couverture pédologique en unités de pédo-paysages, ensembles organisés de sols pouvant être délimités à partir de critères extrinsèques aux sols : lithologie, relief, occupation. À l'échelon parcellaire, la connaissance des sols est déduite de l'analyse détaillée d'aires échantillons (ou secteurs de référence) représentatives de pédo-paysages (ou petites régions naturelles pédologiques). La restitution des données fait appel aux bases de données, systèmes d'information géographique et systèmes experts.
