

Les banques régionales de données-sols

Exemple du Languedoc-Roussillon

M. Bornand*, J.-P. Legros*, C. Rouzet**

* INRA Science du Sol . Place Viala . 34060 Montpellier cedex 1

** GUTLAR . Domaine de Lavalette . 34090 Montpellier

RÉSUMÉ

Les problèmes d'environnement et de gestion de l'espace rural rendent urgent le besoin de disposer d'une bonne connaissance de l'organisation spatiale des sols. Un programme dit IGCS a été mis en place à la suite d'une collaboration MAF/DERF/INRA (le MAF est devenu depuis MAP, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche). Ce programme doit assurer la couverture des 22 régions françaises dans l'optique d'une reconnaissance des sols au 1/250 000.

Le Languedoc-Roussillon est une des régions pilote qui a permis de préciser la méthodologie employée. Afin de faciliter l'accès aux données et à leur exploitation, des moyens modernes de traitement de l'information spatiale sont mis en œuvre. L'objectif est d'aboutir à la création d'une banque de données sur les sols régionaux ; on en présente ici les caractéristiques essentielles.

Un modèle d'organisation des données pédologiques a été conçu : la structure logique qui sert pour caractériser les unités cartographiques (DONESOL) complète celle déjà existante (STIPA) pour les données stationnelles (profils de sols). Ce système de gestion relationnelle gère les données sémantiques ; il est utilisé en complémentarité avec un Système d'Information Géographique qui gère les aspects graphiques. Système d'aide à la cartographie des sols (répertoire des études pédologiques, référentiel de caractérisation des unités cartographiques), la banque constitue aussi un outil de thématisation grâce à ses possibilités de recherches et de croisement des données. Deux exemples illustrent son utilisation possible comme outil d'aide à la décision pour les gestionnaires de l'espace rural dans le domaine agricole (reconversion du vignoble languedocien) comme dans celui de l'environnement (épandage des composts urbains).

Mots clés

Banque de données-sols, unités pédopaysagères, système d'information géographique, système de gestion des données relationnelles, répertoire des études de sols. référentiel pédologique régional.

SUMMARY

REGIONAL SOIL DATA BANKS : Example of Languedoc Roussillon

New problems relating to environmental and economic aspects are often encountered when dealing with agricultural and rural spaces. Their solutions require a good knowledge of soil spatial organisation and characteristics. A French national program called «Inventory, conservation and Management of Soils» was set up by Agricultural/Forestry Ministry and INRA to carry out agro-pedological investigations on a 1/250 000 scale for 22 regions. With others in process of development, the region of Languedoc Roussillon was chosen to serve as a pilot project to establish a methodological approach to be adopted. Up to date computing tools of spatial analysis allowing easy access to information data and their analysis were used. The aim is to create a soil data bank on regional soils based on a cartographic concept applicable in France and to propose an appropriate computer structure.

Cartographic method was based on a new «pedo-landscapes concept». In this, geographical units of soil were classified on function of climate, lithology, morphology, topography and also on their natural vegetation and/or land use.

A computer model (DONESOL, fig. 3) aimed at organizing pedological data was developed by a team of workers. It allows storage of non-graphic information relating to pedological studies such as references, characterisation of Cartographic Units (C.U) and Soil Units (S.U), then local descriptions of the typical soils (fig. 1). Graphical aspects are dealt with when it is used in conjunction with a classical Geographical Information System (GIS) that is Arc/INFO running on station. This GIS allows the analysis of spatial modelling and cartographic productions.

All informations collected are classified under three major parts of complementary levels (fig. 2.1): repertory of pedological studies realised in our region; Regional Pedological Reference with precise descriptions and characterisation of each unit (CU in relation with U.S.); local data with morphology and analysis of the most typical soils.

Data management using GIS allows interactive procedure and cartographic representation of information from the Soil Data Bank (fig. 4). It also allows a combination of these data with other types of information such as climate topography and other human and economic aspects. The Bank therefore constitutes a useful tool for researchers and managers working on rural spaces. Two examples of this combination can be cited (fig. 2.2): the bank was used to find solution to a regional agricultural management problem in Languedoc Roussillon regarding the possibility of replacement of vineyards by other crops. It was used also for solving environmental problems such as the search of suitable soils for the application of organic compost in Languedoc-Roussillon.

Key words

Data bank-soils, landscape soils units, geographical information system, relational management data system, inventory of pedological studies, regional soil reference base.

Pour traiter les nouveaux problèmes liés aux mutations du monde agricole et à la préservation de l'environnement, de nombreux pays développent des outils capables de stocker et de mobiliser rapidement les informations servant de base aux décisions pour une gestion plus raisonnée des terres et de l'espace rural.

Dans ce but, la Région Languedoc-Roussillon, à l'initiative de la D.R.A.F., a décidé, en 1989, de se doter d'une banque régionale de données géographiques sur les sols. Elle en a confié les travaux de conception et d'élaboration au Laboratoire de Science du Sol de l'INRA/ENSA de Montpellier. Celui-ci se trouve donc engagé dans un projet pilote. Il s'agit d'une tâche particulièrement lourde car les expériences sont encore peu nombreuses. Tout est à faire: l'inventaire des données existantes, l'acquisition des données manquantes, l'organisation de toute l'information dans un système de gestion cohérent, la vérification de la validité des données, la mise au point de méthodes d'exploitation raisonnée des informations, l'élaboration de différents types de modèles, la vérification de la qualité des diagnostics proposés. Cet article a pour objet de dresser le bilan des principales actions entreprises et de présenter quelques uns des résultats déjà obtenus.

OBJECTIFS ET CONTEXTE

Les objectifs poursuivis sont les suivants:

- fournir aux décideurs et aux professionnels agricoles régionaux **les connaissances de bases** concernant le milieu physique, et notamment les sols, au besoin en recueillant les informations dans les secteurs géographiques où elles n'existaient pas au démarrage de l'action,

- proposer un **outil moderne pour gérer, conserver et actualiser les données spatiales**. Il s'agit d'utiliser un Système d'Information Géographique (S.I.G.) placé dans un environnement informatique tel qu'il soit utilisable par des personnes non spécialistes de l'informatique,

- concevoir des **méthodes de synthèse et d'exploitation des informations** concernant le milieu naturel afin de faciliter les diagnostics et les interprétations, qu'il s'agisse d'aménagement de l'espace ou de protection du milieu naturel. Exemple : reconversion du vignoble.

- enfin, assurer **les transferts du savoir-faire informatique et méthodologique** vers des Sociétés de Services, dans la mesure où les efforts faits en Languedoc-Roussillon peuvent aider d'autres régions voulant s'engager dans la même voie.

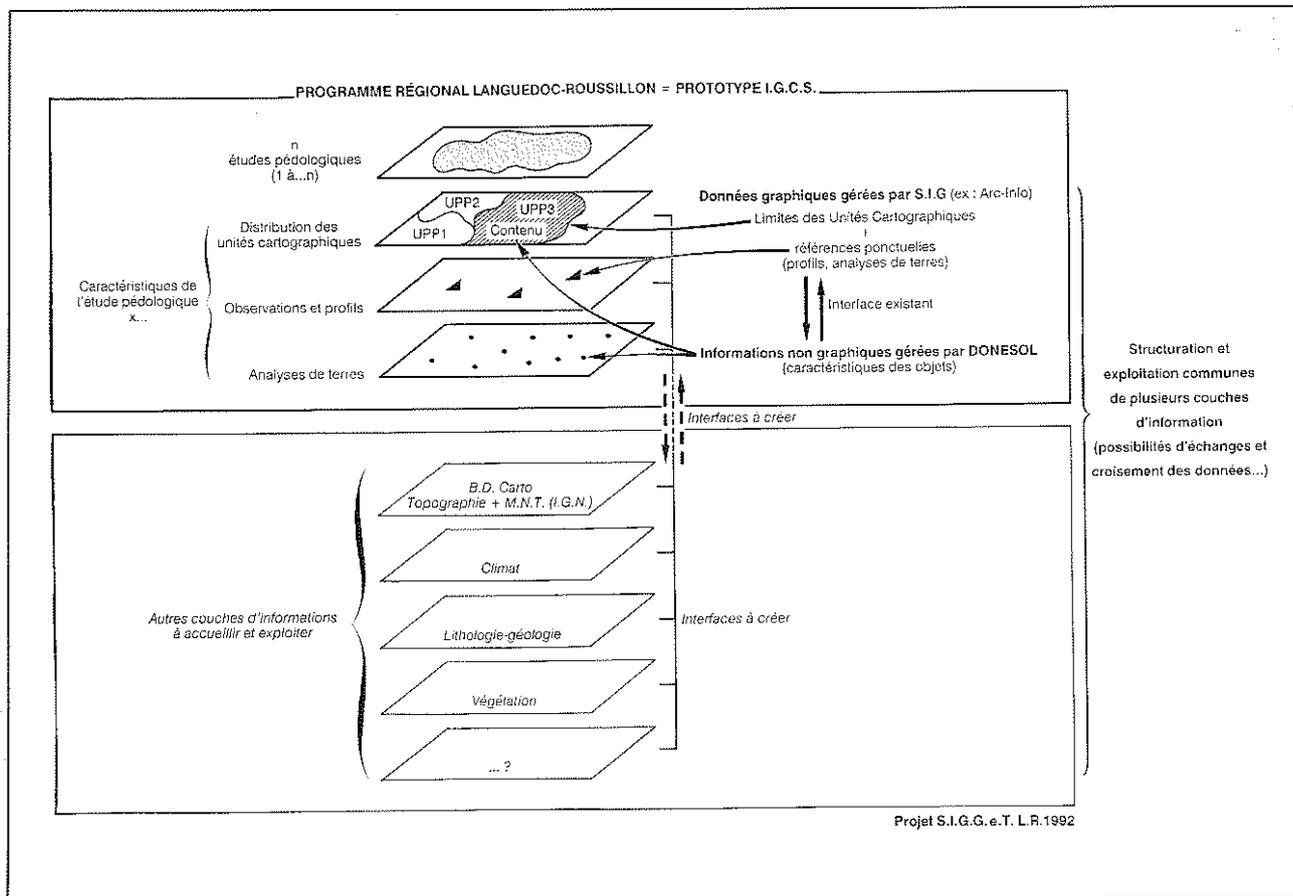
Le contexte dans lequel ces travaux sont entrepris doit être examiné au plan régional, au plan national et au plan international.

Au plan régional, la Banque de Données «Sols» du Languedoc-Roussillon s'inscrit pleinement dans le cadre des actions menées par LE POLE CALCUL-IMAGE de Montpellier pour la promotion des outils modernes de gestion de l'information spatiale. Il s'agit en fait, de mettre en place, dans un SIG, différentes «couches d'informations» dont le sol. Le projet S.I.G.G.e.T. (1992) a ainsi été proposé aux instances régionales, à l'initiative concertée de plusieurs organismes de recherche montpellierains (INRA/Science du Sol, L.C.T. CEMAGREF/ ENGREF, Maison de la Géographie, C.N.U.S.C., CNRS-CEFE).

Le rassemblement des informations sur «les sols et leur environnement» représente en quelque sorte la première étape du travail. D'autres informations devraient suivre (fig.1), en particulier celles concernant le relief et plus précisément l'altitude (MNT), la végétation, le climat, la nature des roches...pour ne

Figure 1 - Structure schématique de la base de données-sols en Languedoc-Roussillon. Ouvertures possibles.

Figure 1 - Schematic structure of soils data base in Languedoc-Roussillon region (France). Possibilities to add other information.



citer que le domaine du milieu physique. Au total, les autorités régionales devraient pouvoir disposer des données et des moyens de traitement nécessaires à de nombreuses prises de décision.

Au plan national, la collecte des informations pédologiques, la réalisation de cartes de synthèse, région par région, à 1/250 000 et la gestion informatique des données s'inscrivent dans un plan d'ensemble. Il s'agit du programme IGCS (Arrouays, 1989 - Bornand *et al*, 1989, 1, - Favrot *et al*, 1991 - IGCS, 1992) c'est-à-dire Inventaire, Gestion et Conservation des Sols lancé en collaboration par le Ministère de l'Agriculture et de la Forêt et par l'INRA, suite à la signature d'une convention cadre en 1990. Ce programme vient relayer des actions déjà entreprises depuis de nombreuses années dans le cadre du SESCOF, plus exactement Service d'Etude des Sols et de la Carte Pédologique de France (Bornand et Jamagne, 1987 -

Jamagne et King, 1991 - Jamagne *et al*, 1989 et 1991). A l'heure actuelle, le Languedoc-Roussillon est considéré comme l'une des régions tests pour l'élaboration de la méthodologie, qu'il s'agisse de l'inventaire, du stockage ou du traitement des données. Le but est d'établir et d'informatiser ce qu'on appelle le Référentiel Régional Pédologique. Le contenu de ce dernier sera précisé plus loin. Le programme IGCS est en cours. Des travaux de cartographie, synthèse et stockage ont été lancés dans d'autres régions françaises par les équipes INRA du SESCOF en particulier en Ile de France (Roque et Hardy, 1993), en Bourgogne (Chrétien *et al*, 1990 et Baize, 1993), dans le Centre (Département du Loiret, Arrouays *et al*, 1989) et en en Aquitaine (Wilbert, 1987). Sous l'impulsion du Ministère et suite aux efforts faits par l'INRA, des Chambres Départementales et Régionales d'Agriculture se sont lancées dans des travaux du même type en Mayenne (DDAF, 1992),

dans la région Rhône-Alpes (Chambre Agri., 1992) ainsi qu'en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Il est évident que toutes ces réalisations font avancer la connaissance des sols français tout en aidant à préciser les concepts et à élargir la gamme des applications.

Au plan international on observe que beaucoup d'efforts sont faits concernant la sauvegarde et l'emploi des données relatives au milieu naturel. Cela est dû pour une part à la diffusion d'outils informatiques nouveaux tels que Systèmes de gestion de bases de données relationnelle (SGBDR) et Systèmes d'Information Géographique (SIG). Mais cela tient aussi à une prise de conscience récente de l'importance d'une gestion raisonnée de l'environnement.

Les pionniers en la matière furent des américains et des canadiens de différents organismes (Tomlinson, 1987). A l'heure actuelle, le seul U.S Department of Agriculture exploite trois bases de données appelées SSURGO, STATSGO et NATSGO. Elles correspondent à une caractérisation du milieu à trois échelles différentes. Par ailleurs, beaucoup de pays européens ont entrepris une gestion informatique de leurs données de sols. Il est impossible de signaler ici tous les efforts. Ceux-ci ont d'ailleurs donné lieu à divers recensements (CEE, 1985, I et II et 1989 - FAO-UNESCO, 1975 - FAO, 1991) et publications de synthèses (Jamagne *et al.*, 1993). On peut cependant citer quelques exemples. Au Danemark des travaux sont poursuivis depuis de nombreuses années pour traiter les données géographiques de toutes sortes au moyen de l'informatique (Mathiesen, 1982). Très récemment, à partir de fin 1990, nos collègues suisses de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne ont conçu un projet très ambitieux appelé GERMINAL (Prelaz-Droux *et al.*, 1994). Il s'agit de créer un système de gestion de l'information spatiale, intéressant à la fois les sols, l'hydraulique agricole, la végétation, la topographie, l'écologie etc. L'objectif est donc peu différent de celui de SIGGeT, présenté plus haut. GERMINAL est destiné en particulier au Canton de Vaud. Des applications expérimentales ont déjà été réalisées: impact du tracé de l'autoroute N1, recherche des zones inondables, etc. En France, les premiers efforts datent des années soixante-dix. A l'INRA le premier système opérationnel de gestion des données cartographiques de sols a été mis au point à Montpellier (Hensel et Legros, 1976). Par la suite des systèmes plus modernes ont été développés (King, 1985).

Au niveau de l'Union Européenne (CEE) une première informatisation des données a été lancée dès la parution de la carte des sols d'Europe au millionième (1986) dans le cadre du programme CORINE de la DG VI. Mais l'échelle d'investigation ne pouvait permettre qu'une caractérisation très sommaire des unités inventoriées. Malgré tout, des exploitations ont été tentées soit sous forme d'extractions de paramètres simples (texture de surface par ex.), soit en combinant les données pédologiques avec d'autres. Ainsi, un essai de zonage de la susceptibilité à l'érosion (DGXI, prog. Corine Erosion et Land

Use) a été réalisé pour la partie méridionale de la Communauté, en particulier pour la France (Bonfils, 1989). Une application de type «bilan hydrique» a été testée dans le cadre du projet MARS en utilisant des modèles agrométéorologiques simples (Meyer-Roux, 1987 - King *et al.*, 1989). Mais il est vite apparu que les données disponibles étaient trop peu nombreuses pour pouvoir traiter beaucoup de problèmes importants. Aussi, pour combler les insuffisances, on s'est efforcé d'enrichir la banque à l'aide de nouveaux attributs caractérisant mieux les différentes unités de sols présentes sur le territoire européen (Madsen, 1989 et 1991). Une base de «profils de sols» est en cours de constitution. Elle doit permettre de préciser le contenu des unités de sols les plus représentatives (King *et al.*, 1994). Cette base de données intéresse non seulement les pays de l'Union Européenne mais aussi les territoires de la Suisse et de l'Autriche. Une extension de cette base est entreprise pour intégrer aussi les données de sols des pays de l'Europe de l'Est.

Tous ces programmes européens reflètent bien l'importance des enjeux. Une harmonisation avec les programmes mondiaux est d'ailleurs en cours de mise en place; elle est soutenue par les grands organismes internationaux comme la FAO ou l'UNEP (SOTER, 1986 - GEMS, 1990 - GRID, 1990 - ISRIC-UNEP, 1990).

MÉTHODE ET OUTILS INFORMATIQUES UTILISÉS

Les informations à traiter

Pour atteindre, dans le cas du Languedoc-Roussillon, les objectifs appliqués que nous avons évoqués, il est nécessaire d'accumuler plusieurs types d'informations et de les gérer avec des outils adéquats. Suivant les cas, ces informations sont exploitées ensemble ou séparément. Elles correspondent à ce qui suit (fig. 2.1).

Répertoire des études pédologiques

Il doit réunir les références et la localisation des cartes de sols réalisées dans la région, à différentes échelles, par les organismes régionaux et nationaux. C'est en quelque sorte un document de base faisant l'état des lieux («métadonnées»). Il pourra être complété au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

Référentiel Régional Pédologique

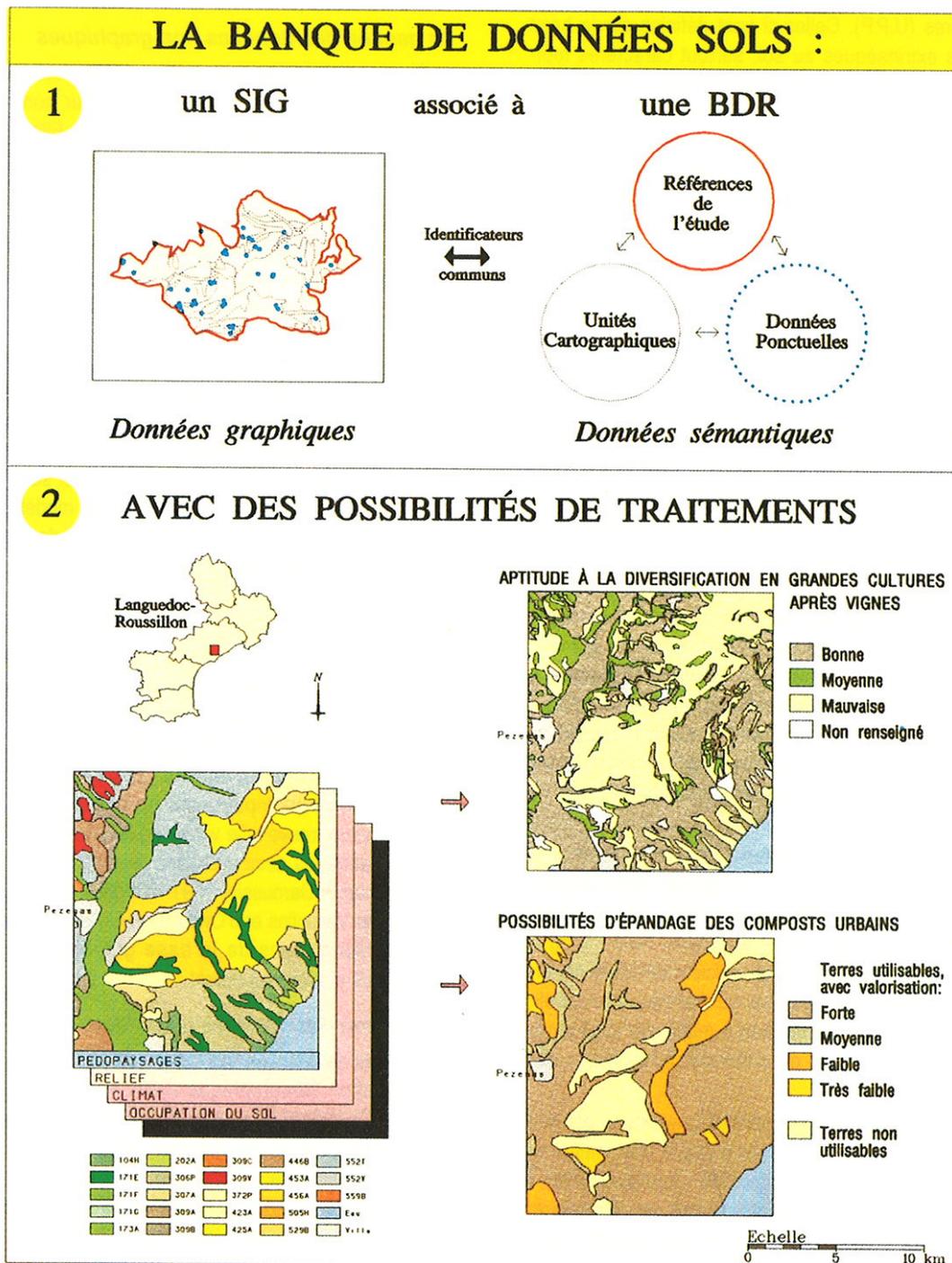
Il est destiné à identifier et délimiter précisément à l'échelle du 1/250 000 les différents sols existant sur l'ensemble de la région. Mais, en réalité, ces sols sont trop nombreux, variés et imbriqués pour être facilement distingués à une échelle aussi synthétique. Ainsi a-t-il été nécessaire d'élaborer une nouvelle

Figure 2 . 21- Caractéristiques générales de la Banque de Données Régionales des Sols.

21 - General characteristics of Regional Soil Data Bank.

22 - Exemples d'utilisation de la Banque de Données Régionales des Sols.

22 - Some examples using Soils Data Bank informations.



méthode de cartographie et de représentation des sols. Cette méthode est basée sur le concept de *pédopaysage* (Bornand et Robbez-Masson, 1990 - Baize, 1993). Un niveau de perception global est privilégié. Il repose sur la prise en compte des déterminants majeurs de l'organisation spatiale des sols (facteurs de la pédogenèse). Il conduit à une représentation de type synthétique faisant apparaître les Unités Pédopaysagères (U.P.P.). Celles-ci sont définies sur la base d'informations extrinsèques au sol: surtout caractères morphologiques du paysage mais aussi roches, végétations, cultures etc. En revanche, leur contenu est défini par rapport aux sols. La qualité de la délimitation des unités pédo-paysagères peut faire l'objet d'un contrôle (Robbez-Masson *et al*, 1991).

Données à caractère stationnel

Il s'agit des descriptions et analyses de sol. Elles constituent des références illustrant et précisant ponctuellement les caractères des sols, en principe en des lieux particulièrement typiques et représentatifs des unités à caractériser.

Les outils de traitement

Les outils servant à gérer l'information ont été mis au point dans le cadre d'une coopération exemplaire entre les équipes INRA de Montpellier, d'Orléans et de Versailles (Daroussin *et al*, 1990 - Gaultier *et al*, 1993).

Au plan informatique, il est important de distinguer les *données graphiques* et celles qui, non graphiques, sont qualifiées un peu improprement de *données sémantiques*. Ici, les données graphiques sont essentiellement les limites des unités de pédopaysages. Les données sémantiques représentent tout le reste : caractères décrivant de manière qualitative ou quantitative le contenu des plages cartographiques, informations constituant ce qu'on aurait appelé antérieurement légende ou notice, description et analyse des profils.

La gestion informatique des données de profil est opérationnelle depuis 15 ans à l'INRA avec un logiciel «home made»: STIPA (Bertrand *et al*, 1984 - Simoneaux 1987 - Girard et King, 1988 - Dunand-Divol, 1988 - King et Girard, 1988 - King et Duval, 1989 - Veysseyre, 1989). Des logiciels similaires ont été établis dans d'autres pays d'Europe, au Canada, en Australie etc. En effet, la masse d'informations à manipuler avait rendu tout de suite évident l'intérêt du traitement informatique des données de profils.

La gestion informatique des données graphiques est plus récente. Sans négliger les efforts faits à l'INRA pour mettre au point des logiciels spécialisés (King, 1985 - Ledreux, 1992), il faut reconnaître que la généralisation, à tous les laboratoires de cartographie, du traitement des données graphiques a attendu l'apparition sur le marché de logiciels relativement conviviaux mis au point aux USA.

Le traitement des données qui correspondent aux notices et légendes est le plus récent. Il a été grandement facilité par l'apparition sur le marché des Systèmes de Gestion de Bases de Données (SGBD). Mais l'utilisation d'un tel système suppose à l'amont une structuration complète et souvent difficile de l'information à traiter (Girard *et al*, 1989 - Legros, 1991). L'effort réalisé, à ce niveau, a été particulièrement important.

La gestion des données non graphiques

La structure logique qui a été retenue pour organiser les données dans la banque régionale a pour nom DONESOL (Gaultier, 1990 - Gaultier *et al*, 1993); fig. 3. Elle a été conçue au plan national pour tous les travaux de cartographie des sols du programme I.G.C.S. Elle intègre le système STIPA déjà existant pour les données stationnelles. Elle le complète en introduisant le stockage de la caractérisation des unités de sols au plan pédologique et au plan de leur environnement topographique, géologique etc. Il s'agit d'un outil de type Base de Données Relationnelle. Il comprend un système descripteur avec vocabulaire adapté (Legros, 1990 - Legros et Nortcliff 1990), une notice d'emploi, des fiches et des écrans de saisie ainsi que des menus d'interrogations. Des procédures de validation de l'information ont été mises au point (Legros *et al*, 1992). Le système est conçu pour fonctionner sur station UNIX avec comme logiciel support ORACLE. Le modèle conceptuel a été établi pour permettre d'informatiser tout document de cartographie des sols, quelle que soit son échelle originelle de réalisation.

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

Naturellement, DONESOL permet d'établir un lien avec les données graphiques. Par exemple, il est possible de faire apparaître les lieux (pédopaysages ou points représentatifs de profils) où l'on trouve telle valeur de tel paramètre. En fait, une interface entre les deux systèmes Arc/Info et Oracle a pu être mise en place (Daroussin, 1991 - Gaultier *et al*, 1991) par les équipes de Versailles et d'Orléans, afin d'automatiser les transferts d'informations de la base graphique vers la base sémantique et réciproquement.

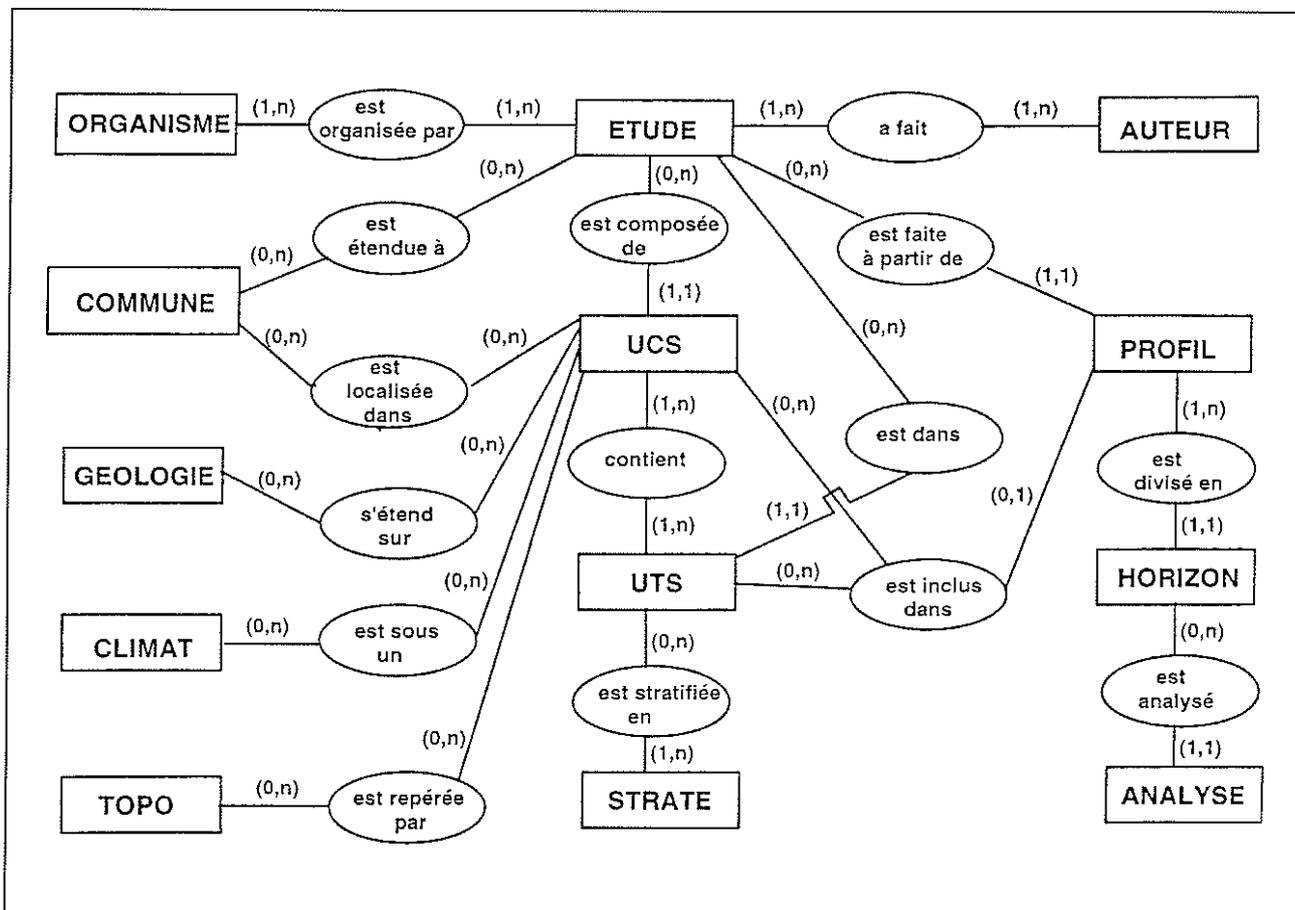
La gestion des données graphiques

La base de données DONESOL est associée à un Système d'Information Géographique (SIG) relativement répandu : Arc/Info. Ce logiciel de cartographie assisté par ordinateur sert d'outil pour les analyses spatiales, la conception et la réalisation d'applications cartographiques.

En particulier, le S.I.G. permet la saisie, le traitement et la restitution des contours des études pédologiques et des unités cartographiques ainsi que la localisation précise des points situant l'emplacement des profils de sols ou points d'observations.

Figure 3 - Modèle conceptuel de données DONESOL.

Figure 3 - DONESOL : conceptual structure for computing Soils Data.



(d'après Gaultier et al, 1993)

ALIMENTATION DE LA BANQUE, RÉSULTATS ACQUIS

Quatre ans après le lancement du programme visant à mettre en place une banque de données-sols en Languedoc-Roussillon, on peut dresser un premier bilan des résultats obtenus en distinguant l'effort d'acquisition des données et l'effort de saisie de l'information.

L'effort d'acquisition des données

Répertoire des études

L'inventaire des études existantes dans le Languedoc est achevé. Il faut remercier ici tous ceux qui ont bien voulu nous fournir les informations nécessaires, en particulier les maîtres d'ouvrages sollicités directement par enquête.

Plus de **220 études** ont été répertoriées dans la région Languedoc-Roussillon. Elles ont été réalisées par les Chambres d'Agriculture départementales, l'INRA, la Compagnie du Bas Rhône Languedoc et la SAFER. Le contour et l'identification de chaque étude ont été saisis au moyen du SIG. Les références (n° DONESOL, titre, auteur, échelle, organisme, surface, ...) ont été saisis à partir de la fiche DONESOL (20 informations par étude). Un ouvrage présente ces données de façon synthétique (Rouzet, 1992). Il pourrait être consulté par minitel (Rouvarel, 1988).

Le référentiel pédologique

Il a été créé pour l'ensemble du territoire régional. Il couvre 2 780 000 ha et comprend 370 unités cartographiques, chacune devant être décrite et saisie suivant les fiches DONESOL. Ces fiches représentent 120 informations par Unité Cartographique telles que géomorphologie, unités de sols avec

leur horizons majeurs regroupés ou non en strates, profondeur, texture, pierrosité et toutes données morpho-analytiques intéressantes pour caractériser chaque unité.

Au départ, on disposait des données-sols sur environ 1 300 000 hectares (cartographies antérieures). Pour ces surfaces, il a fallu synthétiser et adapter les zonages qui avaient été réalisés à différentes échelles et dans différentes optiques. Par ailleurs, 1 480 000 hectares étaient vierges de tous travaux pédologiques. Pour ceux-là, on a créé l'information de base nécessaire en privilégiant l'observation directe au champ, mais sans négliger les apports de la photo-interprétation et de la télédétection. Ces nouveaux zonages et la caractérisation des unités cartographiques correspondantes ont nécessité plus de 400 journées de terrain.

Nous disposons maintenant de données homogènes sur l'ensemble du territoire du Languedoc-Roussillon. Elles fournissent une bonne vision de l'organisation des sols et de leur caractérisation au sein des divers terroirs régionaux (espaces naturels ou agricoles).

Données pédologiques à caractère stationnel

Ces données correspondent à des descriptions morphologiques détaillées de fosses pédologiques (horizon par horizon) avec caractérisation analytique et physico-chimique assez complète. Le recueil des données sur le terrain (creusement de la fosse + description) et les coûts d'analyses représentent pour chaque profil un investissement de 1 500 à 2 000 F, au cours actuel. Environ 1 300 profils de sols anciens, déjà décrits et consignés sur des fiches papier, ont fait l'objet d'une récupération. Par ailleurs, plus de 1 200 autres profils ont été creusés, décrits et analysés pour compléter la caractérisation générale du milieu. Le bilan est le suivant :

Aude	468	profils de sols dont	342 nouveaux
Gard	544	««	245 nouveaux
Hérault	794	««	148 nouveaux
Lozère	274	««	247 nouveaux
Pyrénées Orientales	370	««	253 nouveaux

Au total, **2 450 profils de sols ont été décrits**. Cela représente, en moyenne, 220 informations par profil. L'investissement dépasse quatre millions de francs.

Saisie et traitement de l'information

Le répertoire des études est achevé et les procédures d'interrogation correspondantes sont opérationnelles. Il y a

possibilité de consultation directe sur écran pour des utilisateurs locaux et possibilité de sorties graphiques et interrogations personnalisées pour des utilisateurs distants. Mais, une procédure de mise à jour devra être établie par le gestionnaire de la banque, pour enregistrer les études nouvelles, qui viendront à être réalisées en Languedoc-Roussillon.

Les informations graphiques du référentiel ont fait l'objet d'une digitalisation et d'une numérisation par scanner. Une couverture informatique a ainsi été créée qui comprend 4 150 polygones. La nature de chaque polygone a été précisée. Il est donc possible d'envisager immédiatement une première exploitation graphique. Une carte, une «map» comme on dit dans le jargon ARC/INFO, a été conçue après une série d'essais, pour présenter de la meilleure façon possible, les pédopaysages du Languedoc-Roussillon. Le tracé de cette carte peut être obtenu, à une échelle réduite dans notre Unité de Recherche (Bornand *et al.*, 1992). Par ailleurs, à l'échelle du 1/250.000 (dimensions 100 x 110 cm) une sortie est possible et a d'ailleurs été réalisée sur l'imprimante du Centre National Universitaire Sud de Calcul (CNUSC) à Montpellier. Cette sortie a nécessité l'élaboration, par le CNUSC lui-même, d'un programme de conversion adapté. Un exemplaire de cette carte a été exposé à Paris en Mai 1992 lors d'une réunion de présentation générale du programme I.G.C.S. à l'intention de décideurs régionaux. Un extrait en est proposé dans la *figure 4*, ci-jointe. Il convient de souligner ici la différence fondamentale entre cette carte et celle que les pédologues-cartographes pouvaient présenter antérieurement. Au niveau des possibilités d'exploitation, il y a en effet autant de différence entre ces deux documents qu'entre l'annuaire papier et l'annuaire électronique (minitel) de France Télécom.

Malheureusement, le travail n'est pas achevé à ce niveau. Certes, les contours des plages cartographiques sont saisis et chaque pédopaysage est répertorié avec son nom. Mais, la description informatique des données sémantiques, sous DONESOL, est encore en cours. Il s'agit de présenter le détail des caractères de chaque pédopaysage. Cela représente un travail considérable.

La banque de profils est terminée et opérationnelle dans DONESOL. Les informations, qu'elles soient nouvelles ou anciennes (profils récupérés dans des études antérieures), ont été saisies à l'aide du système STIPA puis transférées dans DONESOL. Le passage par STIPA est, sinon strictement nécessaire, du moins justifié par la bonne adaptation de ce vieux logiciel aux travaux de terrain (différents types de fiches, saisie portable, nombreux contrôles etc.). L'idéal serait sans doute de moderniser ce logiciel, mais il faudrait beaucoup de temps.

Les profils sont enregistrés avec leurs coordonnées. A ce niveau on a utilisé le SIG, de deux façons. D'une part, il a servi à calculer les coordonnées qui manquaient à des profils par ailleurs correctement replacés sur le fond topographique. D'autre part, il a permis de vérifier, dans de nombreux cas, la

validité des coordonnées fournies par les cartographes en recherchant si la position donnée correspondait bien à l'environnement décrit à cet endroit (nom de la commune, contexte topographique etc.).

Toutes les données peuvent être consultées sur place (consultation de fichiers) ou pourraient être mises à disposition (sorties en clair) des services intéressés (DDA, DRAF, SUAD, SAFER, Sociétés de Services diverses) à partir du moment où la banque rentrera en phase d'exploitation en routine.

Précision des données

Des efforts importants ont été faits pour obtenir la meilleure précision possible des données sémantiques et des données graphiques et pour mettre en place des contrôles adéquats.

La caractérisation du milieu est faite sur la base de 1 profil pour 1 135 ha et d'un sondage pour 125 ha, ceci en valeurs moyennes. Mais, dans toute la zone cartographiée antérieurement à nos travaux, l'information disponible était considérable. Les profils que nous avons stockés dans la base de données et qui sont représentatifs de ces zones ont été sélectionnés dans un lot de profils dix fois plus grand. Ainsi la précision est plus importante que ne le laisserait supposer la seule lecture des chiffres, mais elle est variable dans l'espace.

Nous avons mis au point un algorithme qui détecte les incohérences éventuelles entre les données stockées (Legros *et al*, 1992). Par exemple, un message est émis à l'intention de celui qui exerce le contrôle si un horizon décrit comme «clair» est trouvé riche en matière organique, lors des analyses. Ensuite, à l'occasion d'un travail d'étudiant, nous avons testé l'aptitude de la carte à prédire la valeur de la texture en tous points de l'espace géographique (Roque, 1990). Enfin, il a été possible d'étudier, localement, l'hétérogénéité de plages cartographiques et d'examiner les conséquences que cette hétérogénéité pouvait avoir, si on la néglige, dans le cadre d'une prédiction par calcul du bilan hydrique du sol (Leenhardt 1991).

Différents travaux sont en cours pour vérifier la précision des limites tracées sur le terrain. On sait déjà que l'erreur de positionnement des traits liée à la chaîne informatique (largeur du trait, erreur sur la localisation des points de calage) est voisine de 100 m et est souvent moins importante que les erreurs faites par le cartographe (identification incorrecte d'un sol, difficulté de positionner un trait sous forêt etc.). On a l'habitude d'affirmer que la plus petite surface représentable est le quart de cm^2 (25 mm^2). En fait, sur la carte des pédopaysages du Languedoc, il y a 10% de polygones, soit 414 polygones, dont la taille est inférieure à 36 ha soit $5,8 \text{ mm}^2$. Cela correspond à des limites très fortes qu'il est impossible de négliger : tourbières de la Montagne Noire, neck basaltique, portion de Causse sur une plate-forme schisteuse etc. On ne doit pas oublier que l'utilisation d'un SIG permet de tracer la carte sur

un écran et de faire des agrandissements locaux. Dans ces conditions la loi de quart de cm^2 paraît dépassée. Une hétérogénéité locale, si elle est suffisamment petite, peut être masquée à l'échelle de référence et apparaître à l'agrandissement. Elle peut donc apporter de la précision à la carte, sans la surcharger. Il s'agit cependant de garder au document son caractère de lisibilité et de synthèse régionale.

EXEMPLES D'APPLICATION

Plusieurs essais d'exploitation de la banque de données-sols ont déjà été mis en œuvre. Nous en retiendrons simplement deux dans le cadre de cet article. Le premier concerne la diversification des cultures, après vigne, et intéresse une des thématiques les plus importantes au plan de l'économie régionale. Le second a été sélectionné parce qu'il permet d'aborder des problèmes nouveaux d'environnement.

Diversification des cultures après arrachage de la vigne

Traditionnellement dominée par la viticulture, l'agriculture du Languedoc-Roussillon subit une évolution récente liée à la crise viticole. L'offre de vins à l'échelle européenne et mondiale excède la demande. Aussi, pour réduire ces excédents, la C.E.E. a instauré, en 1976, une série de mesures, en particulier les primes à l'arrachage. La région est spécialement touchée du fait de l'importance des vins de qualité courante. Ainsi, l'arrachage est passé assez brutalement de 6 000 ha/an à près de 20 000 ha/an à partir de 1987.

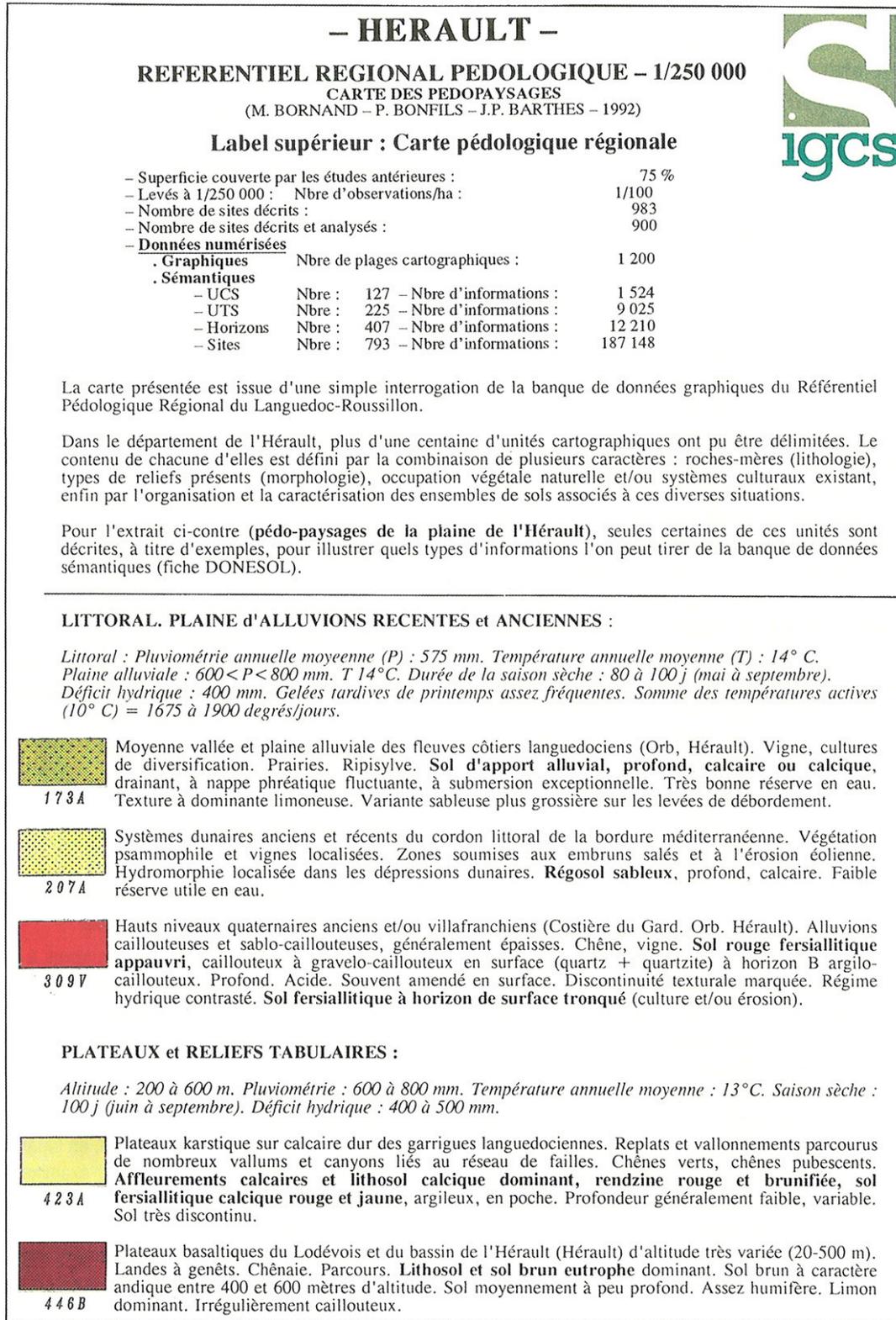
Dans ce contexte, l'intérêt est apparu de tester les possibilités d'exploitation des banques de données régionales d'informations spatiales (Projet SIGGeT). Pour cela trois volets ont été abordés, le premier d'entre eux concernant les sols (fig. 2.2).

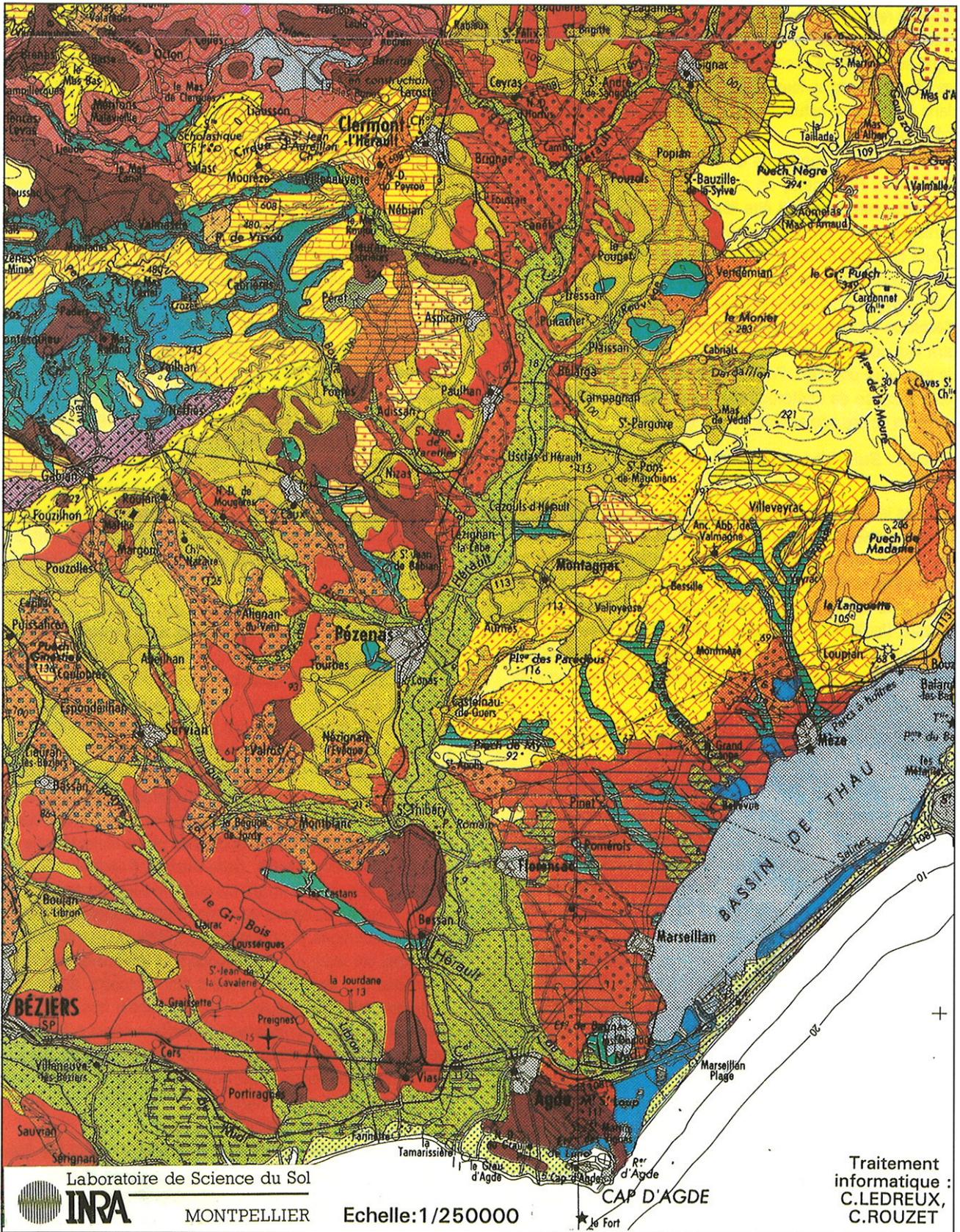
1^{er} volet : zonage des aptitudes et contraintes à la diversification en grandes cultures

Il s'agit de déterminer l'aptitude des terres à l'implantation de cultures pouvant remplacer la vigne (Simon, 1989). Pour cela on a recensé les facteurs déterminants, c'est-à-dire les contraintes pouvant limiter l'implantation de cultures annuelles mécanisées, irriguées ou non. La méthodologie utilisée analyse séparément chacune des contraintes (pente, profondeur du sol, pierrosité, culture en terrassettes minuscules...), puis les hiérarchise. Il reste alors à les combiner, en tenant compte des exigences de la plante considérée, pour examiner la «faisabilité» de la culture (Bornand *et al*, 1989 - Sigal, 1989).

Il n'est pas possible de détailler ici la méthode. Les résultats essentiels sont d'une part la localisation des zones convenant à la diversification et d'autre part l'estimation globale de la surface pouvant être reconvertie. On s'aperçoit alors que cette

Figure 4 - Une sortie graphique du Référentiel Régional Pédologique du Languedoc-Roussillon.
 Figure 4 - Cartographic representation from the Soil Data Bank of Languedoc Roussillon.





dernière représente moins de 50% du vignoble dans de nombreuses communes de l'Hérault. Cela montre à quel point la vigne est adaptée à la contrée et combien il sera difficile, pour les viticulteurs, de se tourner vers d'autres spéculations surtout dans le contexte actuel de surpopulation agricole, en zone méditerranéenne.

Par ailleurs, la fiabilité de la méthode a pu être testée partiellement. Pour cela, on a examiné, parmi les erreurs possibles, celles pouvant être liées à l'utilisation d'un SIG, en particulier celles provenant de l'exploitation conjointe de plusieurs couches d'informations ayant chacune une certaine imprécision (Legros et Bornand, 1990). C'est un volet à la fois métrologique et méthodologique (Delcros, 1990). Ce genre d'exercice est riche d'enseignements. En particulier il montre qu'il faut rejeter l'emploi de couches d'informations à contenu de trop faible précision. Par exemple : zonage (presque impossible à cause de l'hétérogénéité) des secteurs de grandes parcelles ou des secteurs de pentes faibles.

2^e volet : Suivi des modifications de l'occupation du sol

Dans le cadre de nos préoccupations, il faut pouvoir localiser le vignoble et suivre son évolution dans le temps. Ce travail est l'affaire des spécialistes de la télédétection. Ceux-ci ont pu reconnaître et différencier la vigne des autres cultures sur un aire test de 55 000 hectares situées dans la moyenne Vallée de l'Hérault (feuille IGN 1/50 000 de Pézenas). La même zone a servi aussi à évaluer l'apport de la télédétection en tant qu'outil de suivi et de mise à jour de la transformation au cours du temps de l'occupation du sol.

3^e volet : Évaluation de la propension à arracher la vigne

La détermination des zones diversifiables impose de tenir compte de critères d'ordre sociologique et/ou culturel. D'où l'intérêt d'essayer d'intégrer dans les travaux du groupe SIGGeT les facteurs micro-économiques et sociaux. Dans le même temps, on a essayé de prendre en compte les données structurantes du foncier telles que contraintes parcellaires et limites de périmètres irrigués (Didon, 1989).

Au total, on s'est efforcé de déterminer les critères à retenir, de définir la manière de les intégrer dans un S.I.G., de les représenter spatialement et, si possible, de choisir la façon de les combiner qu'ils soient relatifs au milieu physique ou au milieu social.

A la suite de ces travaux, répondant à la triple demande de la Chambre Régionale d'Agriculture du Languedoc-Roussillon, de la Chambre Départementale d'Agriculture de l'Hérault et de la DRAF, une maquette de démonstration d'un Système d'Information Géographique pour l'Agriculture Languedocienne (SIGAL) (Lagacherie *et al*, 1990 Nguyen Linh Quand, 1990) a été réalisée en collaboration avec d'autres équipes montpellié-

raines (CEMAGREF/ENGREF, Maison de la Géographie, CNUSC). Des cartes thématiques, des fichiers et tableaux graphiques peuvent être consultés (requêtes) par la profession agricole et les différents organismes de gestion de l'Espace Rural. Une plaquette de vulgarisation (SIGAL, 1989) ainsi que des disquettes de démonstration informatique, mentionnées ci-dessous, présentent au grand public et aux utilisateurs potentiels l'essentiel de ces réalisations.

Possibilités d'épandages des composts urbains

L'élimination des déchets urbains est un problème qui se pose de façon assez préoccupante pour beaucoup d'agglomérations urbaines. C'est le cas, en particulier, pour des villes méridionales comme celles de Montpellier, Avignon ou Béziers. Montpellier notamment se propose de construire une usine de fabrication de composts pour essayer de réduire quelque peu le volume des apports de déchets dans les décharges qui sont saturées. Il s'agit alors de savoir si l'espace rural existant autour des agglomérations citées est susceptible d'accueillir ces épandages de composts urbains (que l'on suppose remplir les normes légales à la sortie des usines de fabrication) dans des conditions écologiques et agronomiques satisfaisantes. Pour cela, il faut simplement localiser géographiquement les zones aptes et en estimer les surfaces au sein des espaces considérés.

Quatre groupes de critères nous ont semblé importants à retenir (de Viron, 1991 - Legros *et al*, 1991) : les caractéristiques des sols (correspondant à une utilisation directe du Référentiel Régional Pédologique), les pentes et le type d'occupation du sol, enfin la distance par rapport aux points de production de compost, qui fixe la longueur du trajet aux parcelles réceptrices. Ces critères ont été croisés et les résultats calés aux expérimentations déjà existantes. Ce qui a permis de réaliser un zonage des milieux les plus propices et un zonage de ceux plus difficilement utilisables pour la réception des composts, à l'intérieur d'un vaste secteur de plaine compris entre le Rhône et le fleuve Hérault. Cette étude a d'abord permis de tester les capacités de «l'outil banque» en cours de développement : mise en évidence de dysfonctionnements et mise au point de solutions pour y remédier. Mais des conclusions concrètes ont aussi été tirées concernant les points suivants : estimation des surfaces convenant aux composts, estimation de la proportion d'agriculteurs devant utiliser des composts pour que les surfaces réellement disponibles soient suffisantes, localisation approximative de champs d'essais agronomiques représentatifs du terroir et convenant à l'étude de l'enrichissement des terres par compostage, localisation théorique optimale de l'usine de compostage.

Tout ceci montre que l'approche spatiale, utilisant les données et outils adéquats, est riche de possibilités et permet de donner des réponses précises à différents problèmes. On pourrait d'ailleurs donner d'autres exemples d'application

concernant la protection des ressources naturelles (Girard *et al*, 1993) ou les problèmes de ruissellement (King *et al*, 1991). Il n'en reste pas moins nécessaire de poursuivre les recherches, en particulier pour mettre au point des méthodes de vérification et d'amélioration de la qualité des diagnostics.

CONCLUSIONS, PERSPECTIVES

On peut donc tirer un premier bilan des actions menées :

A la suite d'une demande de la Région Languedoc-Roussillon et avec le large soutien de la DRAF, l'INRA Montpellier a conçu et élaboré une banque des sols régionaux. Quatre ans après le démarrage de l'opération, la banque peut être considérée comme terminée dans sa phase conceptuelle. Sur quelques points (saisie informatique complète des données, rodage des traitements), des efforts sont encore nécessaires pour rendre le système complètement opérationnel.

Cette banque constitue un exemple concret de construction d'un Système de Gestion des données-Sols. Elle a été considérée comme opération pilote pour le programme I.G.C.S. mis en place en 1992, et elle a pu bénéficier de soutiens importants, aux plans logistique et financier.

La décision de passage à la phase d'exploitation en routine de la Base par des utilisateurs et clients est du ressort des instances régionales (mise en place d'un Serveur et d'un Administrateur de Base de Données). Les essais d'interrogation à distance qui ont été menés (Courbon *et al*, 1988) pourraient être poursuivis. Les coûts à prévoir, limités par rapport aux investissements déjà réalisés, ressortent surtout de la gestion ; leur importance sera fonction du succès même de l'outil. Plusieurs étapes peuvent être prévues pour permettre un démarrage progressif. Les demandes sont déjà nombreuses et variées; elles attestent de l'intérêt collectif porté à un tel outil.

Par ailleurs, le zonage en «unités pédopaysagères» au 1/250 000 est une méthode originale d'échantillonnage et de découpage du territoire régional. Généralisée à tout le Pays, elle fournira une connaissance utile et homogène des sols de France pour un coût restant raisonnable. Comme en beaucoup d'endroits du territoire la couverture pédologique n'a pas encore été étudiée, ce sera le moyen d'effacer partiellement et rapidement certaines disparités régionales. Par exemple, c'est le cas de la Lozère pour laquelle la carte des pédopaysages est la première couverture disponible à orientation pédologique. Par ailleurs, ce Référentiel réunit les informations de base nécessaires à la généralisation des résultats d'expérimentations menées au niveau local (Lagacherie et de Prataere, 1989 - Bellon *et al*, 1990 - Lagacherie et Ledreux, 1991). Il y a donc là un moyen pour raisonner les problèmes de développement agricole, d'aménagement rural et d'environnement, depuis l'échelle du département jusqu'à celle de la commune.

A coté de ce bilan, la constitution de la banque de données-sols permet d'ouvrir plusieurs perspectives qui sont d'ordre méthodologique et/ou scientifiques.

D'abord les efforts de recherche doivent être poursuivis au plan méthodologique tout spécialement en ce qui concerne la conception de cartes d'application (King, 1984 - King et Daroussin, 1989 - Bellon *et al*, 1990 - Rouzet, 1990 - Chery *et al*, 1991 - Girard *et al*, 1991 - King *et al*, 1991). De plus, il faut demeurer dans une sorte d'état de veille technologique pour tester et examiner l'intérêt d'outils nouveaux tels que les Systèmes Experts (Lagacherie, 1992 - Ledreux, 1992). En troisième lieu, le passage entre différentes formes de gestion de l'information («raster - vecteur») mérite des études complémentaires (Claramunt, 1991).

Ensuite, il faut veiller à ce que tous les utilisateurs potentiels puissent se servir des données stockées et des méthodes mises au point. L'expérience montre qu'il existe une demande pour l'usage des bases de données graphiques, mais cette demande se heurte à des difficultés tenant souvent au manque de compétence informatique et méthodologique de l'utilisateur. En effet, ces bases de données sont d'un maniement relativement complexe, surtout pour ceux qui n'en ont pas l'usage quotidien. Il apparaît donc un besoin de formation. Pour le satisfaire, on a mis en route un *Mastère spécialisé en systèmes d'informations localisées* (collaboration INA Paris-Grignon, GREF Montpellier et ENSA de Montpellier). Dans ce contexte, le transfert de la banque régionale vers un organisme hôte qui aurait en charge sa manipulation et son exploitation à la demande, constituerait une bonne solution en recrutant l'un des spécialistes formés dans le cadre du Mastère.

Par ailleurs, tout ce qui concerne la précision des sorties graphiques et des diagnostics est à développer (Legros et Bornand, 1990 - Walter et Arousseau, 1991).

Au delà, un point important reste à souligner concernant la valorisation de la notion de couche d'information et de croisement d'informations dans une base de donnée ou SIG. Il est évident que l'utilisation conjointe de données du milieu naturel et de données socio-économiques va améliorer l'étendue des applications possibles et la qualité des diagnostics proposés. Mais il y a plus : la mise à disposition de données pédologiques standardisées, homogénéisées et présentées dans une structure compatible avec toutes les autres données va constituer une incitation à l'utilisation d'informations sur les sols pour des applications diverses. Il y a là une possibilité pour la Science du Sol de prouver, de différentes façons, son utilité et son efficacité dans les domaines de l'environnement, et aussi dans une meilleure gestion de problèmes économiques et sociaux dans le monde rural.

REMERCIEMENTS

Le travail présenté est une œuvre d'équipe, qui a nécessité de nombreuses collaborations. Nous tenons à remercier le personnel du C.N.U.S.C., et, spécialement, M. José Sanchez, pour son aide efficace et amicale, pour tous les travaux de sorties graphiques, particulièrement utiles pour valoriser la banque auprès des utilisateurs.

Nous sommes également reconnaissants à tous nos collègues de l'équipe pour leurs conseils scientifiques et pour leur contribution aux travaux de recueil et de saisie des données sur le terrain et au laboratoire (MM J.P. Barthes, P. Bonfils, S. Conventi, P. Falipou, P. Lagacherie, C. Ledreux, F. Mazzella, J.M. Robbez-Masson), ainsi qu'aux différents stagiaires de DEA et élèves-ingénieurs dont les mémoires illustrent quelques-unes des possibilités d'application et d'utilisation de l'outil (P. Delcros, E. Didon, P. Mielliet, A. Royer, S. Simon, J.C. de Viron).

Nous voudrions associer aussi les équipes d'Orléans et de Versailles (J. Daroussin, J. Doux, J.P. Gaultier, R. Hardy, D. King, G. Yart) qui ont coordonné leurs efforts pour concevoir et développer les outils nécessaires au bon fonctionnement du programme, ainsi que les instances nationales et leurs représentants qui ont soutenus largement le programme I.G.C.S.

Enfin, le travail n'aurait pas pu être mené à bien sans les appuis et les soutiens régionaux du Languedoc-Roussillon (DRAF, Conseil Régional et Chambres Régionales et Départementales d'Agriculture).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Publications et mémoires

- Arrouays D., 1989 - Commentaires méthodologiques sur l'élaboration de cartes de pédopaysages au 1/250 000. Exemple du Loiret. *Science du Sol* 27 (1), 13-16
- Arrouays D., Duval O., Renaux B., 1989 - Esquisse des paysages pédologiques du Loiret au 1/250000. Notice explicative. INRA.SESCPF. 185 p
- Baize D., 1993 - Petites régions naturelles et paysages pédologiques de l'Yonne. INRA - Carte au 1/200 000, notice 200 p.
- Bellon S., Guérin G., Lagacherie Ph., Rouzet C., 1990 - Facteurs du milieu et affectation du territoire dans l'alimentation des troupeaux. Utilisation d'un Système d'Information Géographique. Colloque International des Terres de parcours. Montpellier, pp 819-823.
- Bertrand R., Bonneric P., Falipou P., Legros J.P., Navarro R., 1984 - Réseau International de Traitement de Données Sols, STIPA, Système de Transfert de l'Information Pédologique et Agronomique. Agence de coopération culturelle et technique, Paris - Notices, 2 volumes, 83 et 136 p.
- Bonfils P., 1989 - Une évaluation des risques d'érosion dans les pays du sud de la Communauté Européenne. Le programme CORINE. *Science du Sol* 27 : 33-36.
- Bornand M., Arrouays D., Baize D., Jamagne M., 1989 - Cadre méthodologique d'une cartographie régionale des sols au 1/250000. *Science du Sol* n°27(1), p. 17-20.
- Bornand M., Bonfils P., Delcros Ph., Lagacherie Ph., Legros J.P., Ledreux C., Robbez-Masson J.M., SIMON S., 1989 - Possibilités de reconversion en grande culture des zones viticoles languedociennes. Intérêt de l'utilisation d'un SIG. *C.R. Ac.Agric.de France* 75, n°9, pp.69-78.
- Bornand M., Falipou P., Rouzet, 1992 - La banque de données géographiques sur les sols du Languedoc-Roussillon. Lettre du CNUSC Montpellier + carte couleur au millionième n° 44. p. 12-16.
- Bornand M., Jamagne M., 1987 - Cartography of the soils of France. Assessment, evolution and prospects. Seminar CEE Seville DG VI on «Land Evaluation from Mediterranean region» 11 p.
- Bornand M., Robbez-Masson, 1990 - Zonage régional des sols : une approche cartographique par systèmes emboîtés. 2e Journées Nat. AFES. Orléans.
- CEE, 1985 - I. Computerized Land Evaluation Data Bases in the European Communities. Catalogue. Report EUR 10195 EN. 200p.
- CEE, 1985 - II Soil Map of the European Communities 1/1.000.000. CEC-DG VI. Luxembourg, 124 p.
- CEE, 1987 - Computerization of Land Use Data. Proceedings of a symposium in the Community programme for coordination of agricultural research. May, Pisa. Doc CEE n° 1151 EN. 156 p.
- Chambre Régionale Rhône-Alpes, 1992 - Esquisse sols au 1/250.000 Département Isère. Cartes et notice explicative.
- Chery P., Le Bissonnais Y., King D., Daroussin J., 1991 - Définition et délimitation des unités spatiales de fonctionnement (MSF) du ruissellement et de l'érosion. Sémin. INRA. Florac. Gestion de l'espace rural et SIG. 133-148.
- Chrétien J., Meunier D., Roque J., Baize D., 1990 - Esquisses agro-pédologiques régionales au 1/250.000. Quelques essais méthodologiques en Bourgogne et Ile de France. Journées Nationales AFES Orléans.
- Chrétien J., King D., Hardy R., Meunier D., 1993 - Essai de modélisation de l'organisation spatiale des sols d'une région. Application aux plateaux calcaires bourguignons. *Science du Sol*. Vol 31, 3, 171-191.
- Claramunt C., 1991 - Vers une approche complémentaire des SIG raster et vecteur. Sémin. INRA. Florac. Gestion de l'espace rural et SIG. 381-392.
- Courbon J., Favrot J.M., Gierczak Ph., 1988 - Création expérimentale d'une banque d'unités cartographiques de sols et mise au point d'un système d'interrogations par minitel. Mémoire ISIM 2e année Montpellier, 150 p.
- Daroussin J., Hardy R., King D., Bornand M., 1990 - Organisation d'une banque cartographique en Science du Sol. Journées Nationales AFES. Orléans.
- Daroussin J., 1991 - KALEIDOS : une boîte à outil complémentaire pour ARC/INFO. Sémin. INRA Florac. Gestion Espace Rural et SIG. 309-320.
- D.D.A.F. Chambre Départementale Agriculture Mayenne, 1992 - Esquisse des sols au 1/250.000 du département.
- Delcros Ph., 1989 - Elaboration d'une carte de restructuration des zones agricoles sur une commune de l'Hérault par le logiciel ARC/INFO. Vérification des résultats. Étude de précision du logiciel. DEA USTL/ENSA Montpellier, 95p. + annexes.
- Didon E., 1989 - Système d'information Géographique et diversification agricole en Languedoc-Roussillon. Réalisation d'une maquette sur la région de Pézenas (Hérault). Mémoire ENGREF, Montpellier, réalisé avec la collaboration de P. Mielliet, A. Royer et S. SIMON 185 p.
- Didon E., Maurel P., 1991 - Intégration de la télédétection dans les systèmes d'Information Géographique. Sémin. INRA. Florac. Gestion Espace Rural et SIG. 371-379.
- Dunand-Divol F., 1988 - Interface de vérification de la qualité des descriptions et analyses de sols (STIPA). Mémoire ISIM 2e année Montpellier, 78 p.
- FAO-UNESCO, 1975 - Soil Map of the World at 1/5.000.000. Vol I. Legend Unesco-Paris, 62 p.
- FAO, 1991 - «World Soil Resources Map «1/25.000.000. W.S.R. N° 66, Rome, 58 p.

- Favrot J.C., Zimmer D., Pérrin D., 1991 - La banque de données sols-drainage. B.T.I. n°4. 11-17.
- Gaultier J.P., 1990 - Projet DONESOL. Étude détaillée. Conception fonctionnelle. INRA Science du Sol, Versailles - 3 volumes, 55, 20 et 60 p.
- Gaultier J.P., Daroussin J., Yart C., 1991 - L'interface ARC/INFO - ORACLE pour la gestion des données pédologiques. Sémin. INRA Florac. Gestion de l'Espace rural et SIG. 321-328.
- Gaultier J.P., Legros J.P., Bornand M., King D., Favrot J.C., Hardy R., 1993 - L'organisation et la gestion des données pédologiques spatiales : le projet DONESOL. Revue de Géomatique. Vol 3, n°3.
- Gems., 1990 - Global Environment Monitoring System. UNEP. Nairobi, 32 p.
- Girard M.C., Arousseau P., King D., Legros J.P., 1989 - Apport de l'informatique à l'analyse spatiale de la couverture pédologique et à l'exploitation des cartes. Sc. Sol, 27, 4, 335-350.
- Girard M.C., King D., 1988 - Un algorithme interactif pour la classification des horizons de la couverture pédologique. Science du Sol 26, 2, 81-101.
- Girard M.C., Yongchalermchai C., Girard C.M., 1991 - Analyse d'un espace par la prise en compte d'un voisinage. Sémin. Florac Gestion de l'espace rural et SIG. 349-359.
- Girard M.C., Soyex E., Bornand M., Yongchalermchai C., 1993 - Structuration de l'espace régional et protection des ressources naturelles. C.R.Acad.Agric.Fr. 79, n°5, pp 37-50.
- Grid., 1990 - Global Resource Information database. UNEP. Nairobi-Genève, 16 P.
- Hensel E. et Legros J.P., 1976 - Notice d'emploi du système INRA6 de cartographie assistée par ordinateur. 49 p. Doc INRA Montpellier n°305.
- IGCS., 1992 - Plaquette d'information éditée par le MAF/DERF et l'INRA : présentation du programme.
- ISRIC-UNEP., 1990 - World Map of the status of human-induced Soil Degradation. Oldeman I.R. Hakkeling R.I.H, Sombroek W. Wageningen. 3 maps. 27 P.
- Jamagne M., Bégon J.C., Bornand M., Hardy R., 1989 - Évolution dans la conception et dans l'utilisation des données du milieu physique. C.R. Acad. Agric Fr. 75 : 83-86.
- Jamagne M., Bornand M., Hardy R., 1991 - Soil mapping in France and its applications. CEE Meeting of soil survey. Silso. p 7-15.
- Jamagne M., Girard M.C., Hardy R., 1993 - Quelques conceptions actuelles sur l'analyse spatiale en pédologie. Science du Sol. Vol 31, 3, 141-169.
- Jamagne M., King D., 1991 - Mapping methods for the 1990's and beyond. CEE. Meeting of soil Survey. Silsoe. p. 181-195.
- King D., 1984 - Analyse de quelques concepts en cartographie des sols basée sur une automatisation des cartes thématiques dérivées. Agronomie 5. 461-472.
- King D., 1985 - Informatique et cartographie : application à l'étude des sols. Revue du Palais de la Découverte. Vol 13, n°128. p 21-33.
- King G., Daroussin J., 1989 - Test of estimating the available soil moisture reserve. In «Application of computerized EC Soil Map and climate data. Wageningen pp.87-105.
- King D., Vossen P., Daroussin J., 1989 - Creation of an agropedoclimatological information System for the European Communities under the MARS project. 14th World Conf. of I.C.A Budapest, 211-230.
- King D., Daroussin J. and Tavernier R., 1994 - Development of a soil geographic database from the soil map of the European Communities. Catena 21 (sous presse).
- King D., Girard M.C., 1988 - Réflexions sur la classification des profils de la couverture pédologique. Proposition d'un algorithme Vladimir. Science du Sol. 26, 239-254.
- King D., Le Bissonnais Y., Hardy R., Eimberck M., 1991 - Combinaison spatiale d'informations pour l'évaluation des risques de ruissellement à l'échelle régionale. Sémin. INRA Florac Gestion de l'espace rural et SIG. p 149-166.
- King D., Duval O., 1989 - Traitement informatique des données pédologiques. La bibliothèque Logos. Science du Sol, 27, 77-80.
- Lagacherie Ph., De Prataere., 1989 - Analyse des relations sols-paysages au sein d'un secteur de référence en vue d'un zonage pédologique semi-automatisé d'une petite région naturelle. Coll. Agro. Météo INRA-Paris, zonage agro-climatique, 126-138.
- Lagacherie Ph., Ledreux C., 1991 - Essai de modélisation du raisonnement cartographique du pédologue. Le projet SAPRISTI. Actes du Colloque SIG-GIS. Paris. Ed. Hermes, pp 308-338.
- Lagacherie Ph., 1992 - Formalisation des lois de distribution des sols pour automatiser la cartographie pédologique à partir d'un secteur pris comme référence. Thèse Univ. Montpellier 131 p + annexes.
- Ledreux CH., 1992 - Le projet SAPRISTI. Système d'Aide à la Prédiction Intelligente des Sols par traitement informatique. Mémoire Ingénieur. CNAM. Centre Régional Montpellier. 93 p.+ annexes.
- Leenhardt D., 1991 - Spatialisation du bilan hydrique. Propagation des erreurs d'estimation des caractéristiques du sol au travers des modèles de bilan hydrique. Cas du blé d'hiver. Thèse. ENSA Montpellier. 129 p + annexes.
- Legros J.P., 1990 - Règles pour la conception d'un vocabulaire destiné à décrire les sols. Journées Nationales AFES. Orléans, nov. 91.
- Legros J.P., Bornand M., 1990 - Système d'Information Géographique et zonage agro-pédo-climatique. Coll. Agro. Météo. INRA Paris, zonage agro-pédo-climatique, 101-115.
- Legros J.P., Nortcliff S., 1990 - Conception d'un vocabulaire pour la description du milieu naturel et des sols : Pédologie XL, 2, 195-213.
- Legros J.P., 1991 - Computerized data sets for soils maps in geographical information technology in the field of environment. UNED/UNITAR and EPFL. Training programme in GIS, p.309-456.
- Legros J.P., Bornand M., de Viron JCh., 1991 - Base de données géographiques des sols en Languedoc-Roussillon. Un exemple d'application : les possibilités d'épandage des composts urbains. Sémin. INRA Florac. Gestion de l'Espace Rural et Système d'Information Géographique. p 229-238.
- Legros J.P., Falipou P., Dunand-Divol F., 1992 - Vérification de la qualité de l'information dans les bases de données de sols. Science du Sol, Vol 30, 2, P 117-131.
- Madsen HB., 1989 - Elaboration of a soil profile and analytical data base connected to the EC-Soil Map. In EC Workshop on application of computerized EC Soil Map and Climate data. Wageningen. CEC; DC VI. Luxembourg, 119-132.
- Madsen HB., 1991 - The principles for construction of an EC-Soil data base system. In «Soil Survey, a basis for European Soil Protection». J.M. Hodgson. Ed. CEC, 173-180.
- Mathiesen F.D., 1982 - Land Data Systems at Ministry of Agriculture. Bureau of Land Data. Denmark. 15p. ADK.
- Meyer-Roux J., 1987 - The ten year research and development plan for the application of remote sensing in agriculture statistics. CEC DG VI, JRC-ISPRA.
- Prelaz-Roux R., de Sede M.H., Vidale L., Claramunt C., 1994 - Germinal : a spatially referenced information system for rural environmental management. Sustainable landuse planning workshop. Wageningen University 2-4 sept. 1992. A paraître in : Landscape and Urban Planning Journal. Elsevier.
- Robbez-Masson J.M., Doledec AF., Billy F., 1991 - Relations entre facteurs du milieu naturel et pédopaysages : choix des variables pertinentes pour une délimitation assistée. Comparaison de trois petites régions (Hérault-France). Sémin. INRA Florac. Gestion de l'Espace Rural et Système d'Information Géographique. p 5-15.

- Roque Th., 1990. Estimation de la granulométrie d'un échantillon à partir de l'appréciation de la texture et de la cartographie. Mémoire de DEA. ENSA Montpellier. 26 p + annexes.
- Roque J., Hardy R., 1993 - Référentiel Régional Pédologique de l'Ile de France avec carte au 1/250000. Publ. INRA-SESCPF (en cours de publication).
- Rouvarel G., 1988 - Mise en place d'un service télématique sur minitel (pour le répertoire national des études pédologiques de l'INRA. Mémoire ISIM 2^e année Montpellier, 94 p.
- Rouzet C., 1990 - Utilisation d'un Système d'Information Géographique pour l'analyse des relations entre les facteurs du milieu naturel et les pratiques d'élevage. Application à des exploitations ovines dans le Lodévois (Hérault). DEA - ENSAM/USTL. 40 p. + annexes.
- Rouzet C., 1992 - Répertoire des études pédologiques réalisées dans le Languedoc-Roussillon. Une exploitation de la Banque de Données Sols Régionale. INRA/ENSA Montpellier, 88p.
- SIGAL., 1989 - Ouvrage collectif. Plaquette de présentation du Système d'Information Géographique pour l'Agriculture Languedocienne. LTC CEMAGREF/ENGREF, INRA Sc.Sol, CNUSC, Maison de la Géographie, CRA, 8p.
- SIGGET., 1992 - Système d'Information Géographique pour la Gestion du Territoire en Languedoc-Roussillon. Projet pilote déposé aux instances régionales Languedoc-Roussillon par Maison Géographie Montpellier, INRA Sc.Sol, LCT. CEMAGREF /ENGREF, CEFE-CNRS.
- Simon S., 1989 - Prise en compte raisonnée des facteurs du milieu physique pour une appréciation de l'aptitude à la diversification des cultures après vigne. Application au secteur de Pézenas (Hérault). DEA ENSAM/USTL, 41p. + annexes.
- Simoneaux M., 1987 - Mesure de la ressemblance entre les groupes de sondages à la tarière et les profils de référence. Application au classement des sols. DEA. INAPG/ENSA. INRA, 60 p. + annexes.
- Soter., 1986 - World Soils and Terrain Digital Database at scale 1/1 M. Project proposal. ISRIC. Wageningen.
- Tomlinson R.F., 1987 - Current and potential use of geographical information systems. The North American experiences. Inter. Journal of Geographical Information Systems. Vol 1, n°3, 203-218.
- Veysseyre D., 1989 - Conception d'un programme de saisie en clair des descriptions de sondages de sols sur le terrain (version compatible PC). Mémoire ISIM 2^e année Montpellier.
- Viron (de) J.C., 1991 - Possibilités d'épandage des composts urbains. Application au milieu méditerranéen. Mémoire, Université Catholique de Louvain-la-Neuve, Erasmus, 47p + annexes.
- Walter C., Arousseau P., 1991 - Un élément de la précision des cartes pédologiques : la variabilité des propriétés du sol au sein des unités cartographiques. Sém. INRA Florac. Gestion de l'Espace rural et SIG. p. 277-294.
- Wilbert J., 1987 - Esquisse des sols de la région Aquitaine. INRA/CRAA. Min. Agricult. 81 p. 2 cartes au 1/500.000.

Disquettes de démonstration informatique

- Lagacherie Ph., Ledreux Ch., Robbez-Masson JM., 1990 - MIRAGE, utilisation d'un Système d'Information Géographique pour l'aménagement rural : exemple de la diversification du vignoble dans la vallée de l'Hérault. 14 mn. Disquette de démonstration fonctionnant sur PC ou AT muni d'une carte EGA ou VGA.
- Nguyen Linh Quand., 1990 - SIGAL, une maquette de Système d'Information Géographique pour l'Agriculture languedocienne. 12 mn. Disquette de démonstration réalisée en collaboration par les équipes de l'ENSA.M-INRA Science du Sol de Montpellier et le laboratoire commun de Télédétection. ENGREF-CEMAGREF Montpellier.