

La cartographie des sols en France à moyenne échelle Programmes en cours et évolution des démarches

M. JAMAGNE⁽¹⁾

M. BORNAND⁽²⁾

R. HARDY⁽¹⁾

RESUME

Dans le cadre des démarches de cartographie sur le territoire français, les auteurs mettent l'accent sur les travaux réalisés à moyenne et petite échelle.

Après un rappel succinct des objectifs généraux de la cartographie, les points suivants sont successivement évoqués :

— mise en place et développement des actions à moyenne échelle, comprenant le programme Carte Pédologique de France de l'INRA à 1/100 000, à vocation scientifique, ainsi que les cartes de sols à finalité appliquée réalisées par divers organismes : Sociétés Mixtes d'Aménagement, Chambres d'Agriculture, Ministère de l'Agriculture.

— évolution des démarches en plusieurs périodes successives prenant de plus en plus en compte les grandes unités paysagiques et la notion d'organisation de la couverture pédologique à différents niveaux d'appréhension.

— sont ensuite exposées les recherches plus fondamentales associées à ce type d'inventaire cartographique : processus de la pédogenèse, séquences évolutives, études comparatives d'approches de terrain adaptées aux différents paysages, recherches sur le transfert d'échelles, recherches méthodologiques sur le recueil et le traitement des données à l'aide notamment de l'outil informatique.

— un programme d'esquisses régionales des pédo-paysages a démarré depuis peu et les premiers enseignements tirés d'essais de faisabilité dans différentes régions de France sont évoqués.

— intérêt de ces travaux à moyenne échelle pour l'élaboration de documents de synthèse à petite échelle indispensable aux concertations internationales, notamment pour les programmes CCE.

En conclusion, est mise en évidence l'importance des échelles moyennes dans la continuité et le transfert des connaissances aux différents niveaux de perception des paysages, avec cependant une priorité actuelle à donner à une couverture rapide de l'ensemble du territoire.

L'accent est également mis sur la nécessité d'analyses détaillées bien localisées à des fins de validation de connaissances acquises par ailleurs sur le fonctionnement et le comportement des sols.

MOTS CLES : Cartographie des sols - Moyenne échelle - Pédologie appliquée - Recherches pédologiques - CCE.

* INRA - Département de Science du Sol.

(1) SESCPF, Ardon, 45160 Olivet

(2) 9, place Viala, 34060 Montpellier Cédex.

In the framework of the survey of the french territory, the authors point out the works carried out from medium to small scales. After a brief recall of the general aims of soil mapping, this paper deals with the following aspects :

— Setting and developments of medium scale survey, including the pedological french map program to the 1/100 000, and its scientific purposees, and some specific applied maps realized by different agencies : land development companies, agricultural houses, Ministry of agriculture.

— The evolution of the approaches during successive periods, taking more and more account of large scape units, and of the different organization levels of soils.

— Then associated more fundamental researches are shown : pedogenesis processes, evolution sequencies, comparizon of soil survey methods on different landscapes, storage and handling of data with computer tools.

— A regional pedological draft program is just beginning, and feasibility trials first conclusions are noted.

— The interest of the medium scale works for synthetic small scale draft elaboration, essential for international concertations, especially for the EEC programs.

As a conclusion, the importance of medium scale works, and of knowledge on scale transfer at the different scape perception levels, are pointed out. However, the priority is given to a quick coverage of the entire territory. The authors also emphasize the need of appropriate selected detailed studies, in order to validate the results obtained on soil regimes and behaviours.

KEY WORDS : Soil survey - Medium scale - Applied pedology - Pedological research - EEC programs.

INTRODUCTION - OBJECTIFS

La cartographie des sols en France à moyenne et petite échelle occupe une place importante dans « Les démarches d'inventaire et de transfert des données pédologiques ».

Pour tenter de faire le point en ce domaine, il nous a semblé utile de rappeler l'état des démarches et approches à ces échelles, en tentant d'illustrer quelques transferts à partir d'échelles plus grandes vers des échelles plus petites.

La démarche cartographique en pédologie consiste en l'étude des sols dans le paysage sans les dissocier des autres éléments du milieu. Il s'agit d'une approche globale et synthétique, géographique, permettant la compréhension des relations existant entre diverses unités qui constituent par ailleurs un continuum : la couverture pédologique. Elle apparaît, de ce fait, à la fois comme un fondement et un complément indispensable à toute recherche et application dans les domaines de la science du sol.

Par rapport aux autres disciplines traitant de la répartition d'unités naturelles dans le paysage, sa place est donc fondamentale.

Depuis de nombreuses années, des travaux de cartographie des sols ont été réalisés en France pour des objectifs très variés et avec des techniques parfois sensiblement différentes, et cela, à l'origine, essentiellement sous l'impulsion d'un certain nombre d'organismes : SES de l'INRA à Montpellier, Chambres d'Agriculture dont tout particulièrement celle de l'Aisne, Sociétés d'Aménagement Régional...

Un besoin croissant de connaissances sur les sols incitait à l'établissement d'un inventaire plus coordonné et plus systématique des sols du territoire

CARTOGRAPHIE MOYENNE ECHELLE

français. La nécessité s'est alors fait sentir à une certaine époque (années 60) d'une harmonisation des conceptions et des réalisations ; et le GEPPA* en fut une première étape. Suite aux travaux de la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (CPCS) fut décidée en 1968, et réalisée dans le cadre de l'INRA, la création du Service de la Carte Pédologique de France.

Les cartes qui peuvent être élaborées, relèvent d'échelles très variées, selon les objectifs poursuivis (JAMAGNE M., 1967-1979 ; BOULAINÉ J., 1975).

Les *petites échelles*, du 1/1 000 au 1/250 000 correspondent à des documents synthétiques destinés à donner une image de la répartition des grandes unités de sols.

Les *échelles moyennes*, du 1/100 000 au 1/25 000 correspondent le plus souvent à des cartes où les données de la pédogenèse, la caractérisation des matériaux et l'économie en eau sont simultanément mentionnées.

Les *grandes échelles*, du 1/10 000 au 1/5 000, et au-delà, correspondent aux documents les plus détaillés, soit du type analytique, soit liés à des recherches plus fondamentales sur la différenciation ou le comportement des sols.

Progressivement, les principaux objectifs de la cartographie ont été définis (JAMAGNE M., 1967-1979) :

— procéder à l'élaboration d'un *bilan des ressources naturelles* du territoire (objectif prioritaire du programme Carte Pédologique de France) ;

— participer aux actions de *valorisation* et de *thématisation* en élaborant des documents de base pour l'aménagement de l'espace rural et la conservation des sols ;

— participer aux programmes de *recherches fondamentale*, méthodologique ou appliquée, sur différents thèmes prioritaires en Science du Sol.

I. MISE EN PLACE ET DEVELOPPEMENT DES ACTIONS A MOYENNE ECHELLE

En France, la cartographie des sols est réalisée par plusieurs types d'organismes, dont certains ont une vocation nationale et d'autres une vocation régionale ou plus appliquée (BORNAND M. et JAMAGNE M., 1987).

A) L'INVENTAIRE DES SOLS DE FRANCE - LA CARTE PÉDOLOGIQUE DE FRANCE A 1/100 000.

Le Service d'Etude des Sols et de la Carte Pédologique de France (SESCPF), chargé de ce programme, constitue une des équipes importantes du département Science du Sol de l'INRA, il est actuellement basé à Orléans (JAMAGNE M., BORNAND M. et HARDY R., 1989).

Sa mission de coordination nationale implique la collaboration de différents organismes pour les mises au point méthodologiques et les travaux de levé cartographique : stations et laboratoires de Science du Sol de l'INRA, équipes de l'INRA et des ENSA, du CNRS, de l'Université, des Sociétés d'Aménagement, des Chambres d'Agriculture.

Pour la Carte Pédologique de France, priorité a été donnée au départ au levé du territoire présenté à 1/100 000, les travaux eux-mêmes étant, bien entendu, réalisés à plus grande échelle.

* GEPPA : Groupe d'Etude pour les Problèmes de Pédologie Appliquée.

— Sur ces documents chaque unité cartographique est caractérisée par des données : sur la genèse des sols (c'est-à-dire leur degré de différenciation) qui induit nombre de leurs propriétés, sur leur comportement hydrique, sur la nature et l'organisation des matériaux géologiques dont ils sont dérivés. Les teintes utilisées se rapportent au degré de développement pédogénétique, par exemple : dominante verte : sols peu évolués, brune : sols brunifiés, violette : sols podzoliques. Deux autres paramètres sont matérialisés par des surcharges en gris (matériau) et bleu (hydromorphie). Le mode de représentation a été harmonisé, dans la mesure du possible, pour l'ensemble du territoire.

— Les unités cartographiques sont repérées sur la carte et/ou dans la légende par un numéro ou un sigle alphabétique codifié à l'échelon national.

— Quatre esquisses à 1/500 000 accompagnent la carte des sols et fournissent les éléments essentiels des autres composantes du milieu naturel : pluviothermie-lithologie et géologie-géomorphologie-couvert végétal.

Les documents cartographiques sont complétés par des notices explicatives qui fournissent une description détaillée des différents types de sols représentés, leurs propriétés essentielles ainsi que des données sur leur comportement.

Cette carte des sols à 1/100 000 est donc essentiellement un *document à caractère scientifique*, qui a été considéré davantage comme un outil de recherche que comme un objectif par les collaborateurs eux-mêmes.

Le total des levés effectués dans le cadre de cette activité atteint, en 1987, environ 16 000 000 ha. La cadence actuelle de levés et coordination de la Carte Pédologique de France se maintient autour de 3 à 400 000 ha/an c'est-à-dire 1,5 feuille par an (450 000 ha en 1987).

B) LES CARTES DE SOLS A FINALITÉ APPLIQUÉE

Cette rubrique regroupe tout un ensemble de documents de cartographie qui n'avaient pas pour objectif principal la connaissance du milieu et du sol pour elle-même, mais qui se proposait de mettre cette connaissance soit au service de la production végétale soit au service d'une autre finalité appliquée (aménagement hydro-agricole par exemple).

1. Cartes de sols réalisées par les Sociétés Mixtes d'Aménagement

Un document « sol » constituait la base de référence à partir de laquelle étaient discutées les possibilités d'aménagement. Ce sont généralement des documents très complets et de très bonne qualité, il convient de citer les travaux de la Société du Canal de Provence, de la Compagnie du Bas-Rhône-Languedoc, de celles des Côteaux de Gascogne, de la Société des Friches de l'Est... (GERSAR, 1972). Ces travaux ont surtout été établis pendant la phase d'intense développement agricole (1960-1975). Les plus importants concernent le Sud, le Sud-Ouest, la plaine orientale de la Corse ainsi que certaines zones de l'Est de la France.

2. Cartes de sols réalisées par des Chambres d'Agriculture ou des Organismes d'État d'Aménagement Hydro-Agricole

Sont regroupées ici des cartes de sols qui répondent à la demande de certains départements ou de régions (Centre-Yonne-Vienne) désirant disposer d'une carte des sols pas trop onéreuse, mais suffisamment précise, pour rendre compte de l'organisation des sols au niveau des petites régions agricoles, ainsi que de leurs principales caractéristiques. Le choix s'est donc porté sur l'échelle du 1/50 000. Le travail réalisé représente une banque de données dont la valorisation s'accroît de jour en jour. Les utilisations mettent l'accent en particulier sur une

hiérarchisation et un zonage possible des contraintes majeures à la mise en valeur : restructuration agricole ou drainage par exemple.

On peut notamment citer la carte des sols de la région Centre (STUDER R. et al., 1984). La démarche et les critères de cartographie sont assez analogues à ceux de la Carte Pédologique de France, en plus détaillé. Ces cartes de sols donnent toujours lieu à l'élaboration de documents thématiques à échelle plus petite (1/100 000) sur différents thèmes intéressant l'agriculture : contraintes liées à un excès d'eau-réserve en eau utile potentielle-textures superficielles-potentialités des sols.

Parmi les Cartes de Sols établies pour les Organismes dépendant du Ministère de l'Agriculture, nous mentionnerons simplement quelques exemples qui à l'époque de leur parution ont constitué des documents-pilotes ou des expériences intéressantes au niveau régional :

— la carte du Val d'Allier (1966) et celle de la vallée du Rhône (1971) qui à l'échelle du 1/100 000 dressent le bilan des problèmes d'irrigation et d'assainissement de deux vastes ensembles de plus de 600 000 hectares chacun (SERVAT E. et al., 1972) ;

— les cartes de la Charente non Domaniale (1971) et du département de l'Oise (1977) qui, à la même échelle, font le point des problèmes d'aménagements agricoles et d'appréciation des potentialités agronomiques (BEGON J.C. et al., 1977).

Ces quelques exemples montrent à l'évidence qu'avant même la création du Service de la Carte Pédologique, certains organismes para-agricoles et des organismes d'Etat chargés des aménagements d'hydraulique agricole avaient déjà conscience de la nécessité de la prise en compte des données sols. A ce titre, ils ont largement contribué au processus de développement ultérieur de la cartographie des sols.

3. Cartes départementales des terres agricoles (C.D.T.A.)

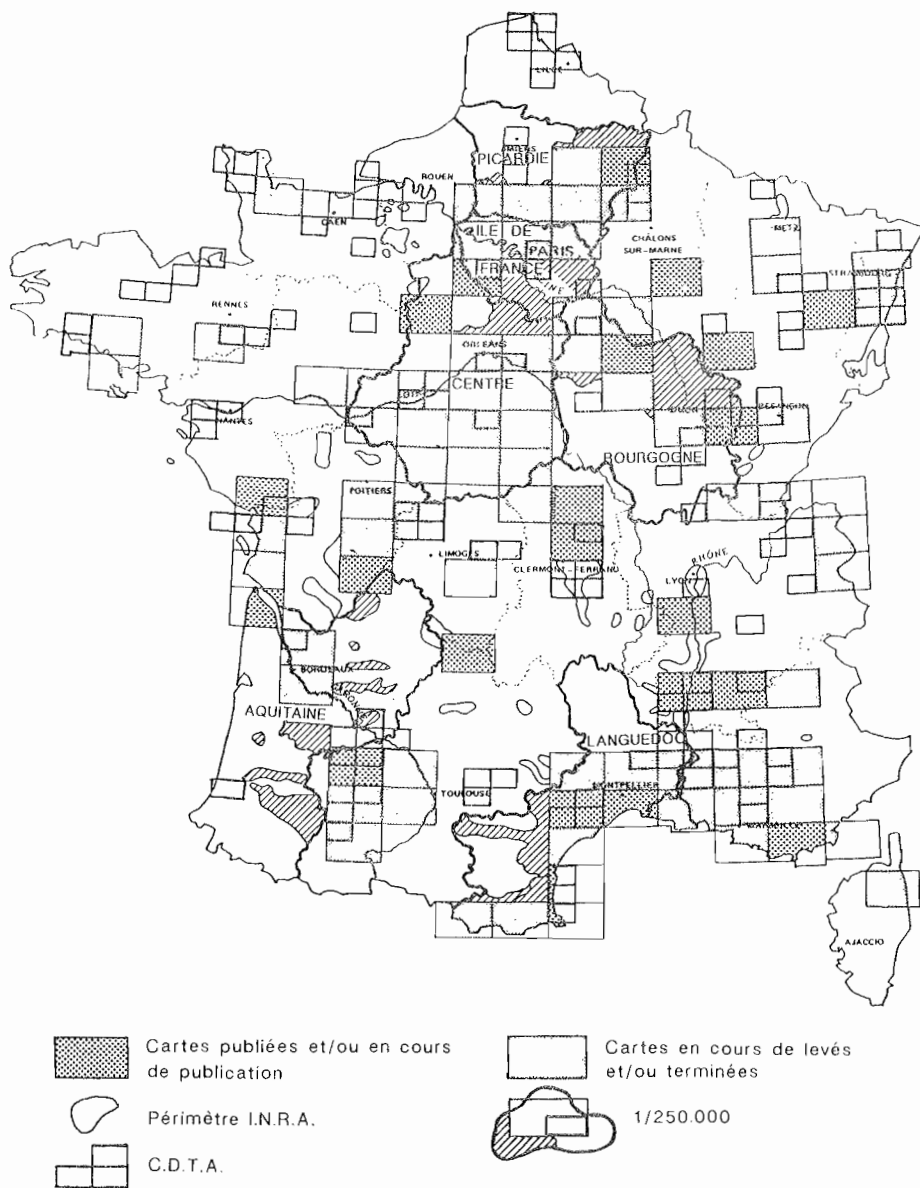
Plus récemment, la loi d'orientation agricole de 1980 avait prévu la couverture de la France par un document à 1/50 000 intitulé « Carte Départementale des Terres Agricoles ». Entreprise dès 1981, cette opération avait pour objectif d'être un outil pour la protection des terres agricoles vis-à-vis de projets susceptibles d'affecter gravement l'économie du milieu rural. Ces cartes devraient être normalement un outil de gestion et de programmation des améliorations foncières. Sur l'ensemble des cartes ainsi élaborées actuellement, certaines ont utilisé des levés de cartes de sols déjà existantes, d'autres ont nécessité des levés nouveaux et viennent donc enrichir la connaissance des sols du territoire français.

La figure présentée (fig. 1) montre la distribution et l'état d'avancement actuel des travaux de la Carte Pédologique de France. c'est-à-dire de ceux des équipes INRA et des équipes collaboratrices de ce programme.

Ce document illustre bien un certain nombre de points :

— certains secteurs sont particulièrement favorisés par la densité des documents existants comme, par exemple, le Sud-Est, la Vallée du Rhône et le Midi Méditerranéen, le Sud-Ouest, la Région Centre, la Bourgogne, et tous les secteurs Est du Bassin Parisien.

— au contraire, d'autres zones apparaissent comme plus délaissées sur le plan cartographique ; c'est le cas notamment du Massif Central et de la Corse, de la Bretagne, des régions de montagne comme les Alpes et les Pyrénées ; mais aussi des régions d'agriculture intensive comme le Nord et l'Est ainsi que le Nord-Ouest du Bassin Parisien.



Etat des levées. Carte pédologique à 1/100 000.

C.D.T.A. : Cartes Départementales des Terres Agricoles. Esquisses régionales à 1/250 000.

Figure 1 : Etat d'avancement des travaux de cartographie des sols à moyenne échelle.
State of progress of work for soil mapping at medium scale.

II. ÉVOLUTION DES DÉMARCHES ET RECHERCHES ASSOCIÉES

C'est dans le cadre des activités de cartographie des sols que sont réalisées différentes actions de recherches se rapportant à la compréhension de la distribution, du comportement et du fonctionnement des sols dans le milieu naturel.

A) ÉVOLUTION DE LA CARTE PÉDOLOGIQUE DE FRANCE

Au cours des années, en fonction de l'expérience acquise, une évolution est intervenue d'une part dans les méthodes d'approche du terrain, d'autre part dans l'expression des résultats, c'est-à-dire la représentation sous la forme de documents cartographiques.

Les levés à 1/100 000 se poursuivent par l'activité du SESCOF et de ses différents collaborateurs, et posent des problèmes d'adaptation et de coordination liés aux nouveaux paysages dont les sols sont à inventorier.

Des concertations et réflexions successives, entre pédologues collaborateurs, sur les démarches cartographiques ont conduit à tenter de remédier à certaines lacunes :

— l'harmonisation de ces démarches et des représentations, prévue au départ pour l'ensemble du territoire, est progressivement apparue illusoire et il convenait d'étudier des méthodes mieux adaptées aux différentes particularités des milieux et des paysages.

— une perte d'information importante entre le recueil des données brutes de terrain et leur transcription sur les cartes et dans les notices était évidente, d'où l'introduction de techniques informatiques ;

— la valorisation de toutes les informations dans les domaines de l'aménagement de l'espace rural apparaissait insuffisante.

Un certain nombre d'expériences ont donc été lancées pour tester différentes approches cartographiques en fonction des milieux physiographiques et des objectifs à atteindre, notamment : approche par toposéquences - « analyse structurale » - approche « géopédologique » - approche par « combinaisons ». Les différences apparentes entre certaines d'entre elles tiennent souvent plus au fait du contexte régional que de principes de base.

Des recherches ont été effectuées sur la mise en évidence des facteurs jouant un rôle prépondérant dans la distribution des sols ; par exemple :

— dans les zones de grandes couvertures quaternaires, la succession de conditions climatiques contrastées a conditionné les phases d'érosion et de dépôt des sédiments, responsables du façonnement du modelé (JAMAGNE M., 1973 ; BEGON J.C., 1979 ; BORNAND M., 1978 ; DUCLOUX J., 1978).

— dans le milieu calcaire des Alpes sèches, la lithologie, les structures liées à la tectonique et le modelé sont les facteurs essentiels (CALLOT G., 1977).

— dans les paysages sur matériaux cristallins anciens, les altérations et transformations parfois profondes de la couverture pédologique constituent le fil conducteur, ainsi que les relations entre l'altitude, la végétation et les types de sols associés (LEGROS J.P., 1982).

Il n'y a donc pas qu'une seule approche de terrain qui soit valable : tenter de généraliser l'une ou l'autre à outrance est généralement une voie d'échec. En fonction de ces considérations, il importe d'adapter son approche de terrain et de la moduler selon ce que l'on recherche et le milieu naturel objet de cette recherche. La présentation des travaux a progressivement évolué. Cette évolution est donc le résultat d'une adaptation aux caractéristiques des différents milieux prospectés et d'efforts successifs pour mieux rendre compte des particularités de la couverture pédologique.

Plusieurs *périodes*, marquant les étapes dans l'activité du SESCPF sont à mentionner.

1) Une première, s'appuyant de manière importante sur des données antérieures mais complétées au plan scientifique, a permis de lancer l'opération 1/100 000. Les sols furent tout d'abord référencés par rapport à un schéma de classement taxonomique. La classification CPCS (1967) constituait cette référence essentielle de dénomination des unités cartographiques. La présentation des unités dans la notice était effectuée sur cette base, éventuellement après subdivision du territoire inventorié selon les grandes régions naturelles. La feuille de DIJON (CHRETIEN J., 1976) est très représentative de cette démarche. Une symbolisation permettant la coordination nationale avait alors été mise au point (GEPPA-INRA, 1969) (fig. 2a).

Plus tard, la légende fut enrichie par une numérotation des unités carte par carte permettant un repérage plus aisé (feuille de TONNERRE - BAIZE D., 1978) et par l'introduction de termes vernaculaires, bien connus du milieu agricole et constituant un premier pas vers une typologie régionale.

2) Ensuite, indépendamment du classement évoqué ci-dessus, nous avons cherché à faire mieux comprendre comment les sols s'organisaient en ensembles au sein des régions naturelles et des terroirs agricoles, en proposant une logique explicative de distribution, et avec le souci d'être plus accessible aux lecteurs et utilisateurs potentiels de la carte. C'est pendant cette deuxième période que les notions de régions naturelles et terroirs prennent de plus en plus d'importance dans la présentation des unités cartographiques. La feuille de CHARTRES (CRAHET M., 1981) en est par exemple assez caractéristique.

3) Une troisième enfin pour laquelle la prise en considération du contexte géologique et géomorphologique est prioritaire dès la présentation du document cartographique. En effet, les progrès de la pédologie et des approches de terrain ont progressivement permis de cartographier plus clairement la distribution des sols en séquences paysagiques selon des lois de répartition et d'organisation dans l'espace.

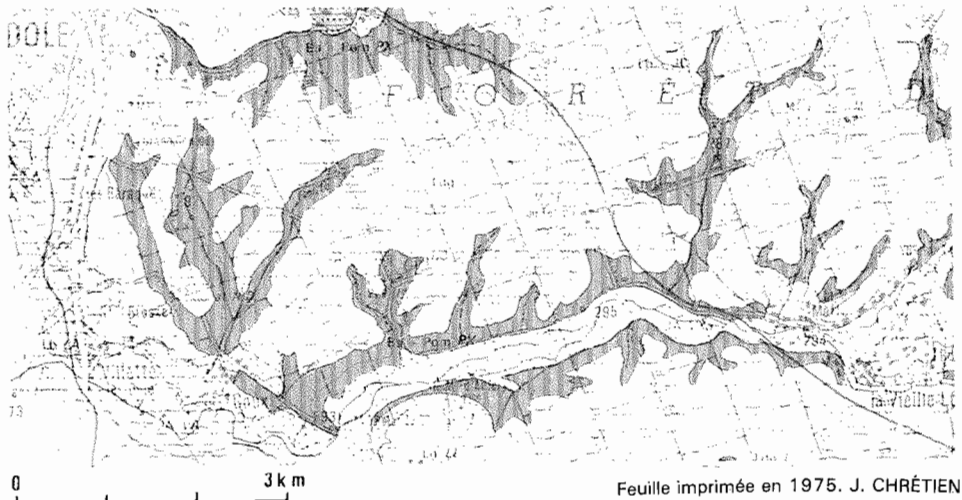
Le repérage des unités est alors effectué exclusivement par numérotation indépendante, avec cependant référence au schéma taxonomique de la classification pédogénétique. La symbolique n'existe plus qu'au niveau de la coordination nationale, et devra, par ailleurs, être réadaptée aux nouvelles conceptions d'un référentiel (RPF) en cours d'élaboration. La feuille de SAINT-ETIENNE (BORNAND M., LEGROS J.P., sous presse) est représentative de cette évolution (fig. 2b).

B) COORDINATION ET ORIENTATION DES TRAVAUX

L'aspect le plus difficile, et sans doute le plus important, d'un rôle de coordinateur, est d'amener les personnes concernées à participer à une action commune, à parler un même langage, et à accepter un certain nombre de contraintes liées à tout travail d'harmonisation.

Cette coordination consiste en fait en une succession continue d'arbitrages scientifiques et de choix techniques, en concertation constante avec des pédologues-cartographes d'origines très diverses et avec des centres d'intérêts parfois bien différents.

Une difficulté majeure à laquelle l'unité de coordination de l'INRA a été et est toujours fréquemment confrontée, est celle d'avoir à concilier cette harmonisation, indispensable, avec le désir de faire progresser des recherches sur différentes approches de cartographie. Ceci explique les évolutions et adaptations successives que nous avons évoquées plus haut, efforts importants qui ont pu faire évoluer la conception des documents pour les rendre plus accessibles aux utilisateurs et pour aborder la cartographie dans des secteurs encore peu explorés.



SOLS BRUNIFIÉS
SOLS LESSIVÉS
Lessivés glossiques

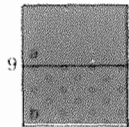
Ldg L Sols limoneux et limono-sableux sur limons anciens.



| Unités fonctionnelles Description synthétique - Caractères descriptifs dominants | Situation topographique | Trait majeur induisant le fonctionnement de l'unité | Référence Classification C.P.C.S. |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|

SOLS DES PLAINES RHODANIENNES ET DES VALLÉES AFFLUENTES
PLAINES ALLUVIALES ANCIENNES
Terrasses fluvio-glaciaires du Rhône

Sols développés sur les terrasses quaternaires étagées en 4 niveaux principaux. Apports caillouteux épais constitués par des reprises des matériaux poussés par les glaciers du Rhône et de l'Isère. Degré d'évolution des sols en rapport avec l'ancienneté des dépôts. Dans les 3 premiers termes évolutifs, phénomènes de rubéfaction croissante affectant l'épaisseur et le degré d'argillisation des horizons B. Sur les plus anciens niveaux, amorce des phénomènes de dérubéfaction.



a) Sols fortement désaturés et très caillouteux. Horizon gravelo-caillouteux de surface très développé et très appauvri en terre fine. Horizon B très épais (7-10 m) en voie de dégradation, partiellement dérubéfié, très profondément altéré et argilié, fortement colmaté dans la masse.
b) Sol développé sur cailloutis à composante plus siliceuse. Horizon de surface tronqué. Horizon B avec niveaux à concrétions ferrugineuses plus ou moins indurés.

Très hautes
terrasses
du Rhône
(complexe
günzén).

Début de colmatage
en horizon B.
Tendance à dynamique
latérale dans horizon
de surface.

SOLS
FERSIALITTIQUES
LESSIVÉS.

Figure 2 : Evolution dans la conception et la présentation des documents cartographiques.
Evolution in concepts and presentation of cartographic documents.

Ainsi :

— une certaine souplesse d'expression est apparue dans le canevas des légendes.

— des cartographies ont été réalisées dans certaines zones d'agriculture marginale comme le Massif Central, les Alpes du Nord et les Préalpes du Sud (BARTHES J.P. et BORNAND M., 1987 ; LEGROS J.P., 1987 ; MENIER D. et al., 1987), ainsi que le Jura. D'autres sont en place dans les Pyrénées.

— dans le cadre de la valorisation des connaissances acquises depuis près de 20 ans tant en France qu'à l'étranger, et de leur structuration, un référentiel national des types de sols — « Référentiel Pédologique Français » — est en train d'être élaboré sous l'égide de l'AFES. Une première version a été soumise à la critique de la collectivité pédologique française et internationale, et la deuxième, plus complète, vient d'être diffusée (BAIZE D. et GIRARD M.C., 1987-1988),

— enfin, toutes les cartes actuellement produites sont numérisées et digitalisées. Les fiches de sols sont informatisées systématiquement. Elles viennent enrichir progressivement la banque de « données sols », à la fois au plan descriptif et analytique. A côté de cette banque stationnelle, c'est-à-dire correspondant à des profils de sols types, est créée une banque de données spatialisées prenant en compte les caractéristiques propres à chacune des unités cartographiques et permettant la mise sur pied d'un véritable *Système d'Information Géographique* (SIG) (KING D. et al., 1989).

C) RECHERCHES ASSOCIÉES

Parallèlement aux recherches mentionnées plus haut pour les approches cartographiques, d'autres études plus fondamentales fondées sur des travaux cartographiques ont pu également se développer et méritent d'être mentionnées.

1) A l'aide des données recueillies par les travaux cartographiques de la Carte Pédologique de France, des études plus approfondies ont été effectuées et les chercheurs ont tenté de comprendre la formation, l'évolution et la distribution des sols de différents grands systèmes pédologiques. Ceci a notamment conduit à aborder de façon détaillée l'étude des principaux processus de la pédogenèse : lessivage, appauvrissement, acidification, aluminisation, dégradation, hydromorphie, podzolisation, fersiallisation, planosolisation.

Ont donc été réalisés plusieurs travaux de pédologie « intégrée » faisant appel aux différents niveaux d'investigation accessibles, « du cristallite au bassin versant ». Les approches ont concerné la morphologie, la répartition, la pédogenèse, le fonctionnement à l'échelle régionale, voire nationale. Ces résultats servent actuellement de base à des échanges internationaux.

Ces recherches sur la pédogenèse ont donné lieu à des travaux importants (thèses d'Etat - synthèses régionales), notamment :

- sur les formations limoneuses, loessiques ou alluviales (JAMAGNE M., 1973-1978 ; DUCLOUX J., 1978 ; BEGON J.C., 1979),
- sur les sols anciens des terrasses du Rhône (BORNAND M., 1978),
- sur les formations calcaires charentaises (CALLOT G., 1976),
- sur les formations cristallines du Massif-Central (LEGROS J.P., 1982),
- sur la différenciation pédologique des sédiments argileux (BAIZE D., 1983).

Les recherches menées sur les systèmes pédologiques et les processus ont notamment permis l'élaboration de séquences évolutives chronologiques, comme celles concernant la différenciation par lessivage et appauvrissement, mettant en évidence :

— les transformations progressives subies par différents types de matériaux avec le temps,

— les modifications, associées à ces transformations, dans l'importance des flux dominants au sein des organisations ainsi différenciées.

2) L'évolution des démarches évoquées plus haut montre, à l'évidence, l'adaptation indispensable des approches en fonction des caractéristiques des régions naturelles. Pour bien comprendre le fonctionnement et la variabilité des unités ainsi inventoriées il s'est avéré nécessaire de les analyser de manière plus détaillée, et à l'aide des outils modernes mis actuellement à notre disposition.

Des études intégrant des approches de terrain à différentes échelles ont été réalisées afin de mieux cerner les paramètres de fonctionnement et de comportement des sols à des niveaux paysagiques variés : bassins versants, terroirs, régions naturelles.

Trois exemples peuvent notamment être cités :

— Les formations sablo-argileuses de Sologne ont vu tout d'abord la réalisation d'un travail de recherche à grande échelle portant sur les origines des discontinuités verticales et latérales dans l'organisation des sols, origines lithologiques et fronts de transformations pédologiques. Un système pédologique sols hydromorphes/planosols y a été défini, conduisant à la distinction de plusieurs domaines : sommital — amont — aval (LAMOTHE M. et al., 1988). Une meilleure connaissance du fonctionnement de ces sols a pu en être déduite. Sur la base des paramètres les plus significatifs, l'extension des « systèmes pédologiques » ainsi définis a pu être repérée à échelle plus petite (feuilles à 1/50 000 Bellegarde-du-Loiret et à 1/100 000 Montargis).

— Un essai d'utilisation et de modélisation de plusieurs approches en cartographie des sols à grande échelle a notamment été réalisée sur un bassin versant en milieu granitique du Limousin (fig. 3).

Dans le cadre du levé de la carte à 1/100 000 de Saint-Léonard-de-Noblat (en coll. avec le CNRS Poitiers) un bassin versant caractéristique constituant une unité fonctionnelle du paysage a fait l'objet de plusieurs approches cartographiques.

- Tout d'abord une cartographie détaillée associée à une analyse structurale (BOCQUIER G., 1971 - BOULET R. et coll., 1982) a permis de mettre en évidence des organisations et des transformations et d'en préciser les limites par des courbes d'isodifférenciation.

- Ensuite une cartographie automatisée associée à une démarche statistique (GIRARD M.C., 1984) a été tentée d'une part en effectuant une classification des horizons relevés aux sondages (DIMITRI), d'autre part en procédant à une généralisation spatiale des points d'observation (CARTOLAB) (Le tracé représente des courbes d'isodistance à des références établies lors de la première étape. Les zones en grisé correspondent aux endroits où la probabilité de trouver la référence considérée est la plus grande).

Ces démarches permettent d'affiner un modèle d'organisation de la couverture pédologique, ceci à partir des observations de terrain ; elles sont complémentaires, l'apport de chacune ne se situant pas au même niveau d'élaboration d'une carte ; elles conduisent à une expression graphique différente, une lecture éventuellement plus aisée, adaptée aux besoins.

Une localisation sur le 1/50 000 de Royères de Vassivière des unités de modèle apparentées au bassin versant étudié à Beaumont-du-Lac a ensuite pu être effectuée (DUVAL et al., en cours), permettant d'apprécier les possibilités de généralisation des résultats obtenus.

- Dans un tout autre paysage, le Diois (Alpes calcaires sèches difficiles d'accès), il a été également indispensable d'analyser en détail un certain nombre de zones représentatives pour mieux comprendre l'organisation des sols et définir des bases de généralisation à échelle moyenne pour l'élaboration de la feuille à 1/100 000 correspondante (BARTHES J.P. et BORNAND M., 1987).

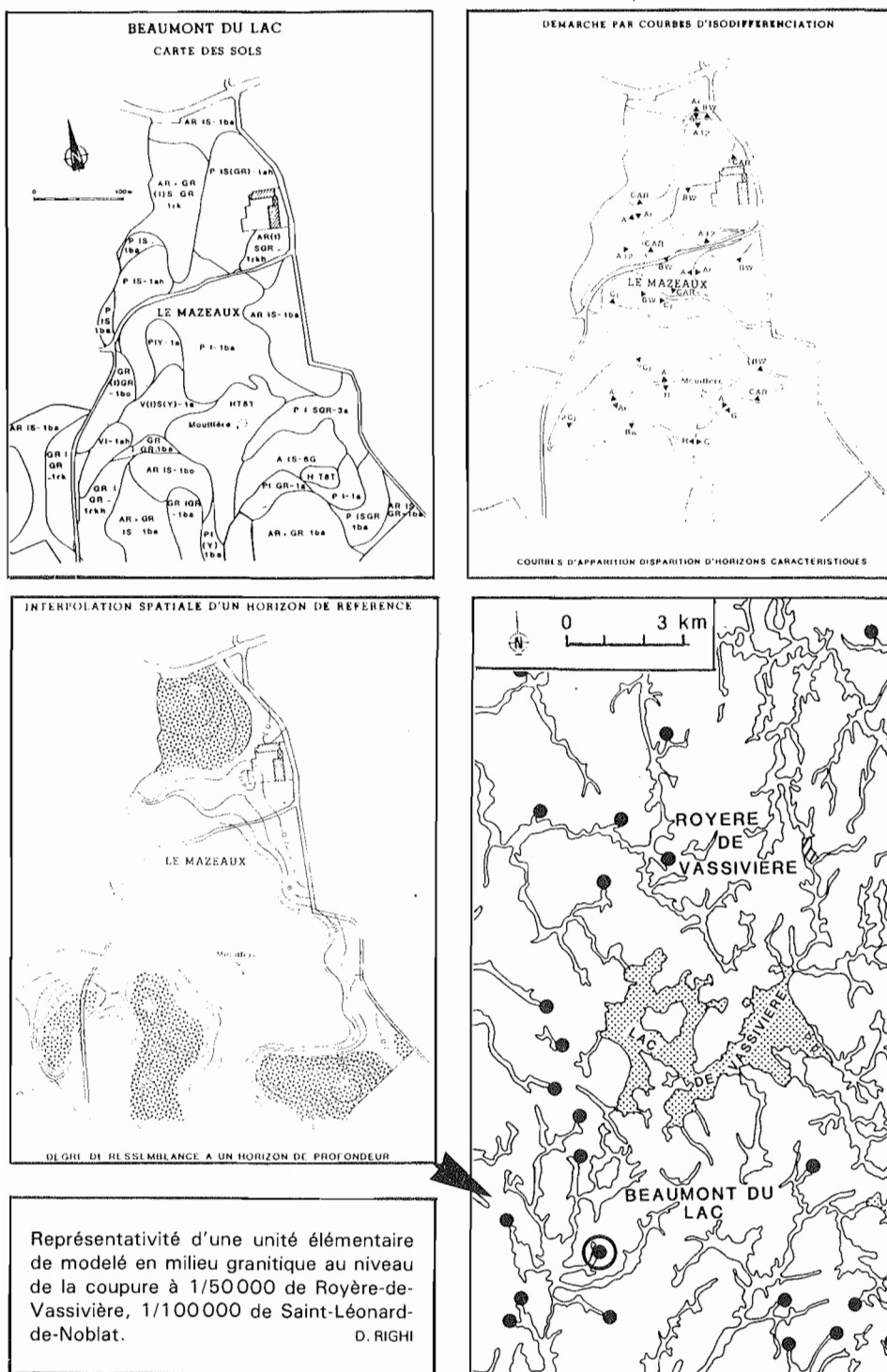


Figure 3 : Analyse détaillée d'une unité de paysage caractéristique et possibilités de généralisation.
Detailed analysis of a characteristic landscape unit, and generalisation possibilities.

3) Des recherches de nature plus technologique ont également été menées sur l'amélioration des différentes phases des travaux : techniques de levé et caractérisation — valorisation des données — expression des résultats, ou traité de différents sujets dans le domaine de la valorisation des données recueillies, c'est-à-dire essentiellement sur la thématisation des cartes de sols (SERVAT E. et al., 1972 ; BEGON J.C. et al., 1977 ; JAMAGNE et al., 1977). Certaines d'entre elles ont porté essentiellement sur l'utilisation de l'informatique et le développement de la cartographie assistée par ordinateur. Elles se sont concrétisées par une participation importante à la mise sur pied d'une banque de données-sols conçus à Montpellier : le système STIPA (BERTRAND R. et al., 1984) ainsi que par la mise au point à Orléans d'un logiciel KALEIDOS pour la numérisation et la restitution automatisée de cartes (KING D., 1989).

III. UN PROGRAMME A 1/250 000

Un besoin est progressivement apparu de pouvoir disposer d'une couverture complète du territoire français à une échelle moins schématique que celle du millionième, et d'élaborer un outil rationnel pouvant servir de base d'extrapolation au niveau régional. Aussi, l'INRA et la DERF (Direction de l'Espace Rural et de la Forêt du Ministère de l'Agriculture) ont jugé nécessaire d'unir leurs efforts pour mettre en place un programme relatif à la « Connaissance des Sols » (BORNAND M., 1985 ; HERVE J.J., 1987 ; BORNAND M. et al., 1988), comprenant deux volets complémentaires : l'un régional, l'autre parcellaire.

L'INRA a comme tâche essentielle dans ce programme la mise au point d'une méthodologie rapide et efficace pour les levés à petite échelle, ainsi que la coordination ultérieure de ces travaux au plan national. Des essais de faisabilité sont donc en cours dans différents paysages français, essais menés par des organismes régionaux (Lorraine - Alsace - Franche-Comté - Provence) et par l'INRA en collaboration entre les laboratoires de Science du Sol de Montpellier et d'Orléans.

Ces essais sont répartis dans des régions de programmes ayant déjà fait l'objet d'inventaires importants (Ile de France - Centre - Bourgogne - Aquitaine...); ceci en liaison avec les travaux déjà effectués en région Languedoc-Roussillon par l'équipe de Montpellier. Il s'agit donc d'une recherche méthodologique préalable à toute coordination (BORNAND M. et al., 1988 ; WILBERT J., 1988).

Premiers résultats

Il apparaît tout d'abord que ces essais couvrent déjà, compte tenu des régions concernées, un ensemble assez varié de paysages français.

Une esquisse à 1/250 000 consisterait en un zonage synthétique faisant apparaître impérativement la relation sol-paysage, c'est-à-dire la prise en compte des petites régions naturelles qui dépendent toutes à des degrés divers de la géologie, de la géomorphologie, du climat, de la végétation et des données pédologiques.

Trois exemples peuvent illustrer ces premiers résultats.

— Dans la région Ile-de-France, compte tenu de la relative homogénéité des matériaux et des paysages, et de la grande hétérogénéité des substrats ce sont surtout les variations pédogénétiques induites par ces substrats qui seront prises en compte. Cette région est en effet caractérisée par une couverture limoneuse pratiquement généralisée, et c'est donc la nature des substrats géologiques qui constitue un élément clé de la différenciation des paysages.

— Dans la région Languedoc-Roussillon compte tenu de la bonne adéquation entre les différents facteurs évoqués plus haut, c'est surtout la cartographie des unités physiographiques, basées sur la géomorphologie qui sera significative. Ce programme est là, par ailleurs, associé à la mise en place d'une banque

régionale de données sols, intéressant particulièrement les autorités locales (BORNAND et al., 1988).

— Dans le département du Loiret, la variabilité texturale des matériaux est très grande et caractérise les différentes régions. La cartographie des grands ensembles texturaux semble ici devoir être privilégiée. Dans l'essai méthodologique réalisé (ARROUAYS D. et al., 1989), deux cas se sont présentés :

• Là où existaient des documents détaillés, la démarche a consisté à effectuer une simplification, c'est-à-dire une « dégradation » du modèle initial par le choix de critères de regroupement. Il s'est avéré, dans le cas présent que le critère essentiel était constitué par le caractère continu d'une couche sableuse de surface caractérisant le paysage de l'Orléanais proprement dit. Le modèle dégradé a permis une extrapolation et l'élaboration de l'esquisse.

• En l'absence totale de documents cartographiques, c'est l'analyse des interactions lithologie-pédologie qui a permis de dégager les facteurs essentiels. Sur les pentes du Gâtinais, la présence ou non d'un colluvionnement limoneux est la clé de compréhension.

Ce type de cartographie permettra de faire apparaître les véritables « petites régions naturelles », mais aussi des « sous-ensembles » ou « pédo-paysages » compatibles avec l'échelle graphique du document, et prenant en compte, dans la mesure du possible, les roches-mères ou les substrats, des éléments géomorphologiques majeurs du paysage, et des données pédologiques en privilégiant celles qui peuvent constituer des contraintes ou des facteurs limitants au plan agronomique.

L'extrait de la carte du Languedoc-Roussillon (en cours) (fig. 4) constitue un exemple du type de rendu cartographique qui pourrait être proposé ; la représentation finale pouvant évoluer en fonction des particularités régionales.

Le document obtenu devrait permettre, après informatisation :

— d'établir aisément des cartes dérivées : projections ou restitutions partielles montrant la répartition spatiale des diverses contraintes agronomiques, susceptibles de constituer autant d'outils d'aide à la décision aux échelons départemental et régional, voire national ;

— de combiner des données de base sur le milieu physique avec des données climatiques et/ou économiques, c'est-à-dire des caractères permanents et conjoncturels, qui constitueront le support de modèles prédictifs ou explicatifs.

Les données ainsi cartographiées (Loiret - Languedoc Roussillon) sont informatisées et le logiciel ARC/INFO nous permet d'effectuer des extractions de données (par exemple : texture moyenne des horizons de surface ; ambiance physico-chimique des solums), en attendant la possibilité de faire des croisements plus complexes.

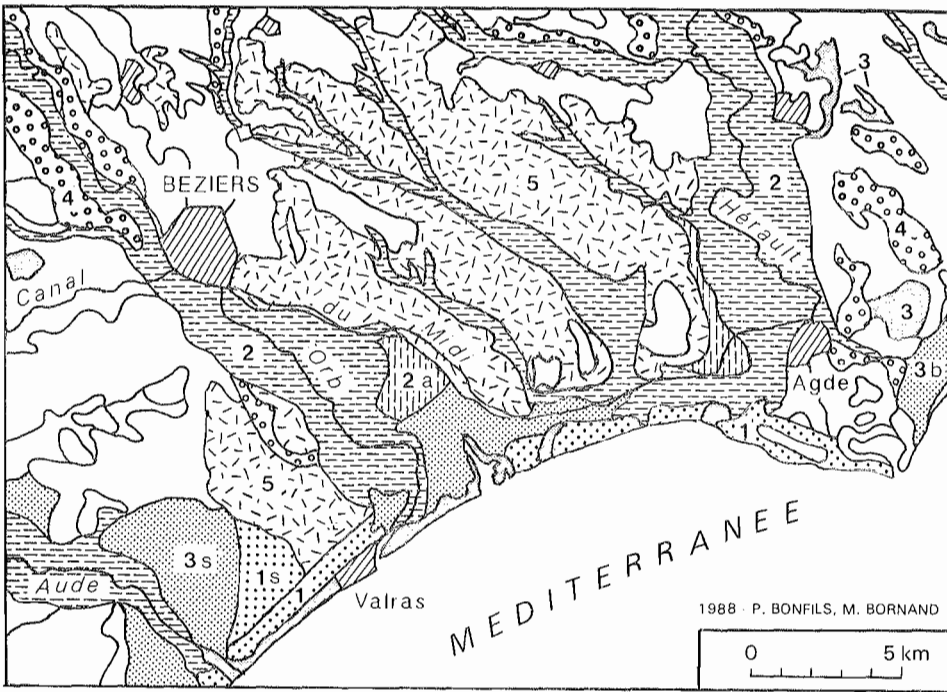
IV. SYNTHÈSES A PETITE ÉCHELLE

C'est essentiellement sur la base des travaux à moyenne échelle que repose la possibilité d'élaboration de documents de synthèse à 1/500 000, 1/1 000 000, 1/2 000 000, lesquels sont actuellement de plus en plus demandés par les instances internationales (CCE - FAO). Un certain nombre d'entre eux ont déjà été réalisés :

— répartition des grands types de matériaux ou « domaines granulométriques » sur le territoire permettant de donner le « poids » des recherches susceptibles d'être effectuées sur ces différents matériaux, ainsi que des généralisations possibles (BEGON J.C. et al., 1989).

— informatisation de la carte des sols de l'Europe de la CEE qui peut donc être traitée par ARC/INFO, soit par extraction simple (texture des sols dominants de chaque association par exemple), soit par combinatoire, c'est-à-dire croisement de différents paramètres du sol (réserve en eau utile par exemple). Un

CARTOGRAPHIE MOYENNE ECHELLE



| FORMES DU RELIEF ET COUVERT VÉGÉTAL | MATÉRIAU ORIGINAL | CARACTÉRISTIQUES PÉDOLOGIQUES | FACTEURS LIMITANTS OU CONTRAINTES MAJEURES | RÉFÉRENCES C.P.C.S. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| I - LITTORAL ET PLAINES ALLUVIALES (AUDE - ORB - HÉRAULT) | | | | |
| <i>Littoral : Pluviométrie annuelle moyenne (P) : 575 mm. Température annuelle moyenne (T) : 14°C. Saison sèche 100 j. Déficit hydrique : 450-500 mm.</i> | | | | |
| <i>Plaines alluviales : 600 <P <800 mm. T 14°C. Durée de la saison sèche : 80 à 100 j (mai à septembre). Déficit hydrique : 400 mm. Gelées tardives de printemps assez fréquentes. Somme des températures actives (10°C) = 1675 à 1900 degrés/jours.</i> | | | | |
| 1. Cordon dunaire. Végétation psammophile (oyats ; sporobolus, ammophilal). | Sables d'origine fluviatile remaniés par les courants et par le vent. | Texture sableuse. Grande profondeur. Faible réserve utile. Légèrement calcaire. | Sensibilité à l'érosion éolienne. Faibles disponibilités en eau. Légère salure (S) (embruns). Présence de nappe salée en profondeur. | <i>Régosols sableux.</i> |
| 2. Plaines alluviales. Ripisylve, vignes, polyculture. | Sables et limons fluviatiles. | Texture limoneuse dominante, sableuse sur les bourrelets. Grande profondeur exploitable. Forte réserve utile. Calcaire. pH>8,0. Bon drainage. Nappe phréatique à grandes fluctuations. a. Engorgement de profondeur. | Risques de submersion. Battance en surface. aptitudes culturales très larges. | <i>Sols alluviaux calcaires.</i> |
| 3. Bordure des étangs littoraux, anciens paluds et dépressions endoréiques, roselières et vasières ou formations halophiles : (S) (sansouïres à enganes). | Argiles et limons organiques avec niveaux tourbeux. | Texture très fine. Profondeur moyenne. Forte réserve utile. Calcaire. pH>8,0. | Profondeur limitée par la nappe généralement salée. Engorgement. Salure. Faible altitude augmentant les difficultés d'assainissement. | <i>Sols hydromorphes à gley ou salsodiques à nappe salée (solontchak).</i> |
| 4. Terrasses fluviatiles basses et moyennes. Vignes. | Cailloutis, argiles, sables, limons. | Texture équilibrée. Pierrosité importante. Profondeur élevée. Réserve utile moyenne. Peu ou non calcaire en surface, calcaire en profondeur. Drainant. | Pierrosité irrégulière en surface ou en profondeur. Capacité en eau limitée. | <i>Sols calciques et fersiallitiques carbonatés.</i> |
| 5. Hautes terrasses fluviatiles et glacis villafanchien. Vignes et maquis. | Cailloutis, argiles, sables. | Texture sablo-limoneuse puis argilo-sableuse. Forte pierrosité. Profondeur moyenne. Réserve utile élevée. Acidité marquée (pH<5). | Pierrosité. Compacité et faible perméabilité de l'horizon B argileux. Réserves minérales faibles. | <i>Sols fersiallitiques appauvris en surface à horizon profond très argileux.</i> |

Figure 4 : Extrait de la carte des "paysages pédologiques" du Languedoc-Roussillon à 1/250 000. Extract of the "pedological landscapes" map of Languedoc-Roussillon at 1/250000.

document est élaboré dans ce sens pour l'ensemble du territoire de la CEE dans le cadre d'un programme européen de spatialisation des modèles agro-climatiques (KING D., en cours).

— zonage des régions « méridionales » de la CEE en termes de susceptibilité des sols à l'érosion et de qualité des terres (BONFILS P. et al., 1988, programme CORINE).

DISCUSSION - CONCLUSION

La cartographie pédologique apparaît comme indispensable à l'augmentation de nos connaissances dans les différents domaines de la Science du Sol : compréhension des mécanismes et des processus, mise en évidence de l'évolution, du fonctionnement et du comportement des sols, de leur distribution dans le paysage et des relations qui existent entre eux.

Il apparaît maintenant qu'une certaine réorientation des activités de cartographie soit nécessaire prenant en compte les éléments suivants :

- la mise sur pied du programme « Connaissance des sols » par le Ministère de l'Agriculture, en collaboration avec l'INRA,
- l'implantation de moyens informatiques performants,
- le développement complémentaire d'actions cartographiques très détaillées, qui seules permettent le transfert au milieu naturel des résultats des recherches fondamentales.

- Deux niveaux d'intervention pourront donc être privilégiés à moyen terme — 1/250 000 pour l'élaboration d'esquisses régionales — grande échelle pour la connaissance détaillée des sols dans des secteurs sélectionnés et représentatifs.

Les études à *moyenne échelle* constituent une base de l'activité scientifique de l'INRA dans le domaine de la cartographie des sols. Elles apparaissent donc bien comme un maillon intermédiaire entre le « niveau esquisse régionale » et le « niveau secteurs de référence ». Ce programme, important tant pour le choix d'aires échantillons représentatives, que pour les esquisses à plus petite échelle et l'élaboration de typologies régionales, constitue un interface remarquable entre thèmes de recherche et sorties appliquées. Il est cependant indispensable de faire intervenir une meilleure adaptation aux objectifs des utilisateurs.

- Un programme d'informatisation générale des différentes phases des travaux, depuis le recueil des données sur le terrain jusqu'aux traitements statistiques et à la restitution sous forme graphique, se met progressivement en place. Ce programme, correspondant à un *Système d'Information Géographique*, inclut la gestion d'une banque de données-sols ; STIPA, d'une banque de données cartographiques : KALEIDOS, DONESOL, ainsi que l'utilisation du logiciel ARC/INFO.

- Le transfert des résultats de la recherche aux différents niveaux d'organisation du milieu nécessitera un certain nombre d'approches spécifiques à mettre au point. Les notions de comportement, de fonctionnement, de dégradation superficielle, de déplacements de particules, de dynamique de l'enracinement... nécessiteront la prise en compte de paramètres complémentaires à ceux généralement utilisés.

Une « validation » des résultats fondamentaux obtenus pourra intervenir à l'occasion de cartographies détaillées dans différentes régions.

Un certain nombre de points nous paraissent actuellement essentiels pour l'orientation des travaux et recherches dans le domaine de la cartographie des sols : la notion de transfert d'échelles ; la nécessité d'analyses détaillées de la structure et du fonctionnement des couvertures pédologiques ; l'intérêt que présente maintenant à tous les stades de la démarche du pédologue l'utilisation de l'outil informatique.

Reçu pour publication : Mars 1989
Accepté pour publication : Août 1989

CARTOGRAPHIE MOYENNE ECHELLE

REMERCIEMENTS :

Nous tenons à remercier l'ensemble des pédologues cartographes de l'INRA et des organismes collaborateurs pour leur participation aux travaux qui viennent d'être présentés, et tout particulièrement en ce qui concerne les éléments de la présente note, Madame O. DUVAL et Messieurs D. ARROUAYS, D. BAIZE, J.P. BARTHES, P. BONFILS, J. CHRETIEN et J. ROQUE.

BIBLIOGRAPHIE

- ARROUAYS D., DUVAL O., RENAUX B.**, 1989. — Esquisse des paysages pédologiques du Loiret au 1/250 000 - INRA-SESCPF - Chambre d'Agriculture du Loiret, 178 p.
- BAIZE D.**, 1983. — Les planosols de Champagne humide - Pédogenèse et fonctionnement. Thèse de Docteur ès-Sciences, Nancy, 358 p.
- BAIZE D. et GIRARD M.C.**, 1988. — Référentiel Pédologique Français - 2^e version - INRA-AFES, 251 p.
- BARTHES J.P., BORNAND M.**, 1987. — Cartographie des sols en moyenne montagne calcaire sèche. Une méthode d'approche possible. In *Agro-météorologie des Régions de Moyenne Montagne*. Coll. INRA, Paris, 39 : 95-106.
- BEGON J.C., HARDY R., MORI A. et ROQUE J.**, 1977. — Les Sols du Département de l'Oise. Cartes à 1/100 000. SESCOF-INRA, 333 p.
- BEGON J.C.**, 1979. — Sur la mise en évidence de séquences d'évolution dans les formations limoneuses garonnaises. *C.R. Acad. Sci.*, t. 288, D, 481-484.
- BEGON J.C., BERLAND M., ARROUAYS D., NICOLLAUD B., JAMAGNE M.**, 1989. — Grand Atlas de la France Rurale. Chapitre VII - Milieu Physique - Beac - De Monza - INRA, 494 p.
- BERTRAND R., FALIPOU P., LEGROS J.P.**, 1984. — STIPA, notice pour l'entrée des descriptions et analyses de sols en banque de données. ACCT, Paris, 136 p.
- BOCQUIER G.**, 1973. — Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. *Mém. ORSTOM n° 62*, 350 p.
- BONFILS P.**, 1988. — Erodabilité et ressources en terres de la France méridionale. Programme CCE CORINE - 25 p. 2 cartes (sous presse).
- BORNAND M.**, 1978. — Altération des matériaux fluvioglaciers, genèse et évolution des sols sur terrasses quaternaires dans la moyenne vallée du Rhône. Thèse de Docteur ès-Sciences. Université de Montpellier. USTL, 329 p.
- BORNAND M.**, 1985. — Méthodologie d'élaboration de cartes contraintes sol/milieu à 1/250 000. Doc. dif. limitée INRA Montpellier, 25 p.
- BORNAND M. et JAMAGNE M.**, 1987. — Cartography of the soils of France. Assessment, Evolution and prospects. Seminar CEE Séville DG VI on « Land Evaluation from Méditerranéan Regions », 11 p.
- BORNAND M., BARTHES J.P., BONFILS P., LEGROS J.P., CONVENTI S.**, 1988. — Région Languedoc Roussillon. Carte Régionale des sols et des contraintes du milieu à l'échelle du 1/250 000 Essai méthodologique. Convention PIM CEE Régions.
- BORNAND M., ARROUAYS D., BAIZE D., JAMAGNE M.**, 1989. — Cartographie régionale des sols à l'échelle du 1/250 000, *Science du Sol*, 27, 1, 13-16.
- BOULET R., CHAUVEL A., HUMBEL F.X. et LUCAS Y.**, 1982. — Analyse structurale et cartographie en pédologie. *Cahiers ORSTOM*. Vol. XIX, n° 4, pp. 309-351.
- CALLOT G.**, 1976. — Analyse d'un système géo-pédologique régional Nord-Aquitaine. Thèse Docteur d'Etat USTL Montpellier, 107 p.
- CALLOT G.**, 1977. — Logique de distribution des sols et formations superficielles sur plate-forme calcaire. Notion de système géopédologique régional. *Sc. Sol*, n° 4, 189-205.

- CARTE PEDOLOGIQUE DE FRANCE A 1/100 000.** — SESCOF-INRA.
FAVROT J.C., Vichy L15, 1969 — **SERVANT J.**, Perpignan L24-25, 1970.
PORTIER J., Toulon P23, 1974 — **FAVROT J.C.**, Moulins L14, 1974.
CALLOT G., Angoulême H16, 1975 — **SEGUY J.**, Condom H21, 1975.
CHRETIEN J., Dijon O12, 1976 — **BONFILS P.**, Brive J18, 1976.
BORNAND M. et coll., Privas N19, 1977 — **BAIZE D.**, Tonnerre M10, 1978.
BONNEAU M. et coll., Saint-Dié Q9, 1978. — **WILBERT J.**, Lesparre F17, 1978.
ISAMBERT M., Châteaudun I99, 1978 — **CRAHET M.**, Chartres J8, 1981.
ARNAL H., Montpellier M22, 1983 — **BENOIT-JANIN P.**, Langres O10, 1986.
- C.P.C.S.**, 1967. — Classification des sols. INRA, 87 p.
- DUCLoux J.**, 1978. — Contribution à l'étude des sols lessivés sous climat atlantique. Thèse Doc. ès-Sciences Université de Poitiers, 200 p.
- GEPPA-SESCOF**, 1969. — Codes de symbolisation, INRA.
- GERSAR**, 1972. — Etude des sols et aménagements. Paris, 83 p.
- GIRARD M.C.**, 1984. — Analyse spatiale de la couverture pédologique - Cartographie - Cartogénèse - AFES - Livre jubilaire, pp. 153-166, Plaisir.
- HERVE J.J.**, 1987. — Connaissance des sols. Les orientations du Ministère de l'Agriculture. Compte Rendu des 5^e Journées d'Etudes « sols-drainage », Nancy.
- JAMAGNE M.** et coll., 1967. — Bases et techniques d'une cartographie des sols Ann. Agron. n° hors série, 18, 142 p.
- JAMAGNE M.**, 1973. — Contribution à l'étude pédogénétique des formations lœssiques du Nord de la France. Thèse Docteur en Sciences Agronomiques (Belgique), 475 p.
- JAMAGNE M., BEGON J.C., HARDY R.**, 1977. — La cartographie des sols, élément fondamental de l'aménagement et de la conservation de l'espace rural. Pédologie XXVII 1, 9-43.
- JAMAGNE M.**, 1978. — Les processus pédogénétiques dans une séquence évolutive progressive sur formations limoneuses en zone tempérée froide et humide. C.R. Acad Sci., t. 286, D, 25-27.
- JAMAGNE M.**, 1979. — La cartographie des sols in « Pédologie », tome 2, chap. XXVII. Masson, Paris, pp. 419-439.
- JAMAGNE M. BORNAND M., HARDY R.**, 1989. — La carte Pédologique de France à 1/100 000. Science du Sol, 27, 1, 21-24.
- KING D.**, 1989. — Traitement informatique des données pédologiques. Application à la cartographie : la bibliothèque LOGOS. Science du Sol, 27, 1.
- KING D., DAROUSSIN J., ARROUAYS D.**, 1989. — Analyse cartographique et Systèmes d'Information Géographique. Science du Sol, 27, 1, 89-92.
- LAMOTTE M. BRUAND A., DUVAL O., HUMBEL F.X.**, 1988. — Un système plano-sol - sol hydromorphe en forêt d'Orléans. Science du Sol. Vol. 26-3, pp. 139-155.
- LEGROS J.P.**, 1982. — L'évolution granulométrique au cours de la pédogénèse. Approche par simulation sur ordinateur. Thèse de Docteur ès-Sciences Montpellier. USTL, 402 p.
- LEGROS J.P.**, 1987. — Cartographie des paysages pédologiques dans les Alpes humides. In « Agrométéorologie des Régions de Moyenne Montagne », coll. INRA, Paris, 39 : 119-127.
- MENIER D., BORNAND M., HINSINGER Ph.**, 1987. — Cartographie et typologie des sols en moyennes montagnes cristallines et cristallophylennes. Application à la Margeride et aux Cévennes. In « Agrométéorologie des Régions de Moyenne Montagne ». Coll. INRA Paris, 39 : 107-118.
- SERVANT E., BONFILS P., BORNAND M., CALLOT G., DUPUIS M., FAVROT J.C. LEGROS J.P., MOINEREAU J., NAERT B., SERVANT J.**, 1972. — Sols, paysages aménagements, SES Montpellier, n° 175, INRA, 174 p.
- STUDER R.** et **DANJOUX M.**, 1984. — Carte des sols de la Région Centre au 1/50 000 - Montrichard - Chambre d'Agriculture du Loir-et-Cher, 131 p.
- WILBERT J.**, 1987. — La Pédologie en Aquitaine - Cartographie et Inventaire. 2 cartes à 1/500 000 - Notice explicative - CRAA-INRA - Min. Agric. 81 p.