

CARTOGRAPHIE DES SOLS ET GESTION DE L'EAU, DEPUIS L'ECHELLE REGIONALE JUSQU'A L'ECHELON PARCELLAIRE. L'EXEMPLE EN FRANCE DU LANGUEDOC-ROUSSILLON

Michel Bornand et Jean-Claude Favrot

UFR Science du Sol. Centre INRA - 2, place Viala -34060 MONTPELLIER Cedex 1 -
FRANCE

Fax : 04. 67. 63. 26. 14.

RESUME

L'importance des diverses fonctions du sol vis-à-vis du cycle de l'eau (régulation, épuration, production de biomasse) impliquent une bonne connaissance de la couverture pédologique en vue d'une gestion raisonnée de ces deux ressources naturelles.

Dans ce but, en France, depuis 1990, un programme national intitulé "Inventaire, Gestion et Conservation des Sols" (IGCS) a été mis en oeuvre. Il envisage deux échelles d'espace :

- une échelle régionale, destinée à raisonner l'utilisation des sols, à partir de référentiels régionaux pédologiques établis sur la base de pédopaysages inventoriés à 1/250.000 ;
- une échelle parcellaire, visant une gestion raisonnée des terres à partir de typologies régionales. Celles-ci sont réalisées sur la base de la cartographie détaillée d'aires-échantillons appelées secteurs de référence.

Cette démarche a été appliquée en Languedoc-Roussillon, région de 2700 km² située au sud de la France sous climat méditerranéen.

Pour acquérir une vision synthétique des ressources en sol à **l'échelle d'une vaste région**, le concept intégrateur de pédopaysage a été retenu. L'inventaire cartographique consiste alors à identifier, délimiter et représenter des "unités pédopaysagères", ensembles cohérents et interactifs de plusieurs types de sols. Elles sont définies en fonction de critères pédologiques, lithologiques, topographiques et d'occupation végétale. Les unités pédopaysagères présentant de fortes relations de voisinage - du fait notamment de leur appartenance à un même système géologique, - sont regroupées au sein d'entités territoriales appelées "Petites Régions Naturelles" (pédologiques). Celles-ci occupent des superficies de 20 à 60 000 ha.

Les données des référentiels régionaux pédologiques, qui sont mobilisées, traitées, interprétées grâce aux outils SGBB et SIG, permettent de raisonner l'usage des sols en fonction des ressources en eau régionales. Plusieurs applications ont été réalisées en Languedoc-Roussillon : carte des réserves en eau des sols, aptitude des sols à la diversification culturale (après arrachage du vignoble) et irrigation, possibilités d'épandage de composts urbains sans contamination des nappes, etc...

L'amélioration de la **gestion des sols à l'échelle des parcelles et des exploitations agricoles** est recherchée en élaborant des typologies de sols micro-régionales accompagnées de références agronomiques et hydrauliques. Le territoire d'intervention est la petite région naturelle. L'inventaire des sols est effectué grâce à la cartographie détaillée (1/10.000) d'un secteur de référence couvrant un millier d'ha environ. Les références agro-techno-

environnementales associées sont déduites des propriétés des sols et d'autres approches : enquêtes chez les exploitants agricoles, modélisation, expérimentation. La valorisation de ces références, sur les territoires à aménager ou à protéger, est obtenue après un "retour à la parcelle". Il s'agit d'une cartographie rapide des sols présents en vue de leur rattachement à un ou plusieurs des types de sols régionaux. Des applications concrètes en matière de programmes collectifs de drainage et d'irrigation ont été menées à l'aide de cette méthode en Languedoc-Roussillon.

Des recherches méthodologiques sont en cours, faisant largement appel aux outils informatiques et à l'intelligence artificielle, pour améliorer l'identification et la délimitation d'une part des unités pédopaysagères, d'autre part des types de sols, ceci en vue notamment d'intégrer ces données dans des modèles hydrologiques et pédologiques spatialisés.

INTRODUCTION

La gestion en interrelations des ressources en eau et en sol implique l'acquisition de connaissances suffisantes sur la couverture pédologique des territoires à valoriser (Bouma et al., 1980). Cette connaissance doit permettre des choix raisonnés et opérationnels vis-à-vis des usages et de l'aménagement des sols, à deux échelles d'espace complémentaires, celle de vastes territoires comme la région et celle de la parcelle agricole. Au niveau régional (plusieurs dizaines de milliers de km²), l'information pédologique doit orienter les décisions en matière d'usage des terres et des eaux, compte-tenu notamment des risques pour l'environnement. Il s'agira par exemple de bien localiser des périmètres irrigables et de définir les modalités de mobilisation de l'eau en préalable à de vastes projets collectifs d'irrigation. Ailleurs, il conviendra de délimiter des zones d'épandage possible de divers types de déchets, (effluents d'industries agro-alimentaires, boues de station d'épuration, etc...) dans le cadre de grosses unités de production. L'autre échelle à prendre en compte est celle des exploitations agricoles et des parcelles (quelques hectares à plusieurs dizaines ou centaines d'ha). En effet, les décisions prises à ce niveau conditionnent directement le devenir du milieu (fertilité des sols, qualité des eaux). Cette échelle est celle par exemple du choix du matériel, des doses et des fréquences des apports en matière d'eau ou de déchets.

En France, pour acquérir cette connaissance sur les sols à ces deux niveaux, un programme national intitulé "Inventaire, Gestion et Conservation des Sols" a été mis en oeuvre, depuis 1990, sous l'égide de l'Institut National de la Recherche Agronomique et du Ministère de l'Agriculture (Favrot et al., 1994). C'est ce programme qui va d'abord être présenté, puis seront décrites diverses applications concrètes menées en Languedoc-Roussillon dans ce contexte organisationnel.

1 - LE PROGRAMME FRANCAIS "INVENTAIRE, GESTION ET CONSERVATION DES SOLS" (I.G.C.S.).

Le programme IGCS comporte trois volets principaux : les "référentiels régionaux pédologiques" les "secteurs de références" et la "numérisation des données".

Le premier volet vise *l'inventaire cartographique systématique des unités pédopaysagères* des 551.000 km² du territoire français. L'échéance souhaitée est 2005. L'échelle du 1/250.000 a été retenue car elle permet de concilier deux impératifs : i) acquérir une information suffisante pour pouvoir définir effectivement les aptitudes-contraintes et les

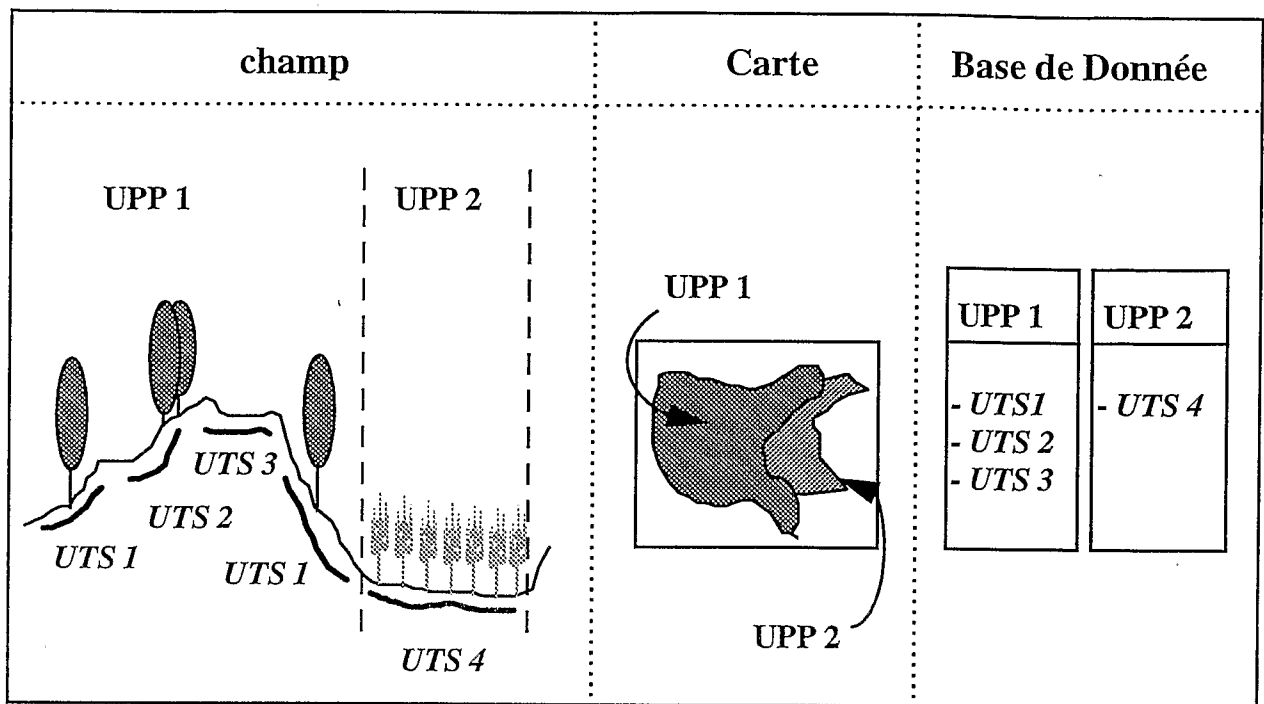


Figure 1 - Représentation des concepts cartographiques de la cartes des pédopaysages.

STU122 Sol se situant sur les terminaisons d'estuaires plus ou moins colmatés mais en milieu relativement sain. Vigne conduite en submersion en hiver. @ Sol très profond, sablo-limoneux à limono-sableux, non caillouteux, calcaire à très calcaire, brun à brun jaune devenant progressivement brun gris en profondeur, pseudo-gley en profondeur, à partir de 80 cm.

Figure 1 bis - Un exemple de description d'une unité typologique de sol.
(d'après Cazemier et al. 1996)

risques (érosion, pollution) inhérents aux sols et aux eaux en fonction de diverses modalités d'usage des terres (intensification agricole, déprise, gestion des déchets, réseaux de communication, etc...) ; ii) réaliser dans des délais et à des coûts raisonnables, la couverture cartographique de l'ensemble des 22 régions administratives françaises (1 à 5 millions d'ha chacune).

En 1997, un peu plus de la moitié du pays a fait l'objet d'une cartographie pédologique, à des échelles très variées (Favrot, 1994). Mais l'information est très dispersée, ni homogène, ni standardisée. Son accès est long et peu commode et la fiabilité des données difficile à apprécier. Un des objectifs du programme I.G.C.S. est de permettre de combler ces lacunes en structurant toutes les données connues et en assurant le transfert de l'"information-sol" à portée des utilisateurs.

L'approche cartographique (Bornand et al., 1989, 1995) proposée comporte une partition de l'espace en unités pédopaysagères (U.P.P.). Sous ce concept, les unités cartographiques, bien représentables sur un fond topographique au 1/250.000, désignent des *systèmes organisés d'unités de sols* (U.S.) identifiables à partir de critères paysagers schématisant l'action des principaux facteurs de la pédogenèse : relief, occupation végétale, lithologie (figure 1). Chaque U.S. est elle-même constituée d'un certain nombre d'horizons bien identifiables, leur conférant une morphologie caractéristique (fig. 1.bis).

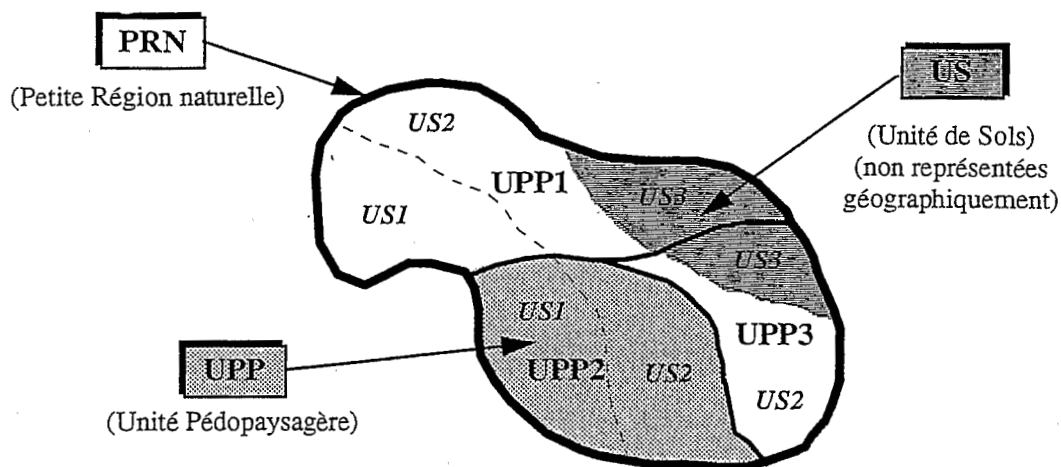
Les unités de sols composant une unité pédo-paysagère, se distribuent dans l'espace selon des règles chorologiques spécifiques (figure 2), lesquelles induisent des transferts de masse (eau, solutés) prévisibles de l'une à l'autre. En fonction notamment du cadre géologique, les unités pédopaysagères qui présentent des relations fortes de voisinage, voire d'interfonctionnement, définissent alors des entités territoriales particulières appelées petites régions naturelles (PRN). Celles-ci couvrent quelques dizaines de milliers d'ha en moyenne. Une PRN relève donc d'un système litho-stratigraphique unique, présente un modèle topographique constant et sa couverture pédologique comprend un cortège de sols en nombre limité, distribués spatialement selon des motifs répétitifs répondant à des règles de répartition spécifiques.

Depuis la P.R.N. jusqu'à la notion d'horizon pédologique, on définit ainsi un ensemble de relations hiérarchiques entre ces diverses entités qui schématisent le modèle d'organisation spatiale retenu pour la couverture pédologique (King et al., 1994a et b, 1995). C'est ce modèle qui sert de base à la structuration informatique des données-sols proposée plus loin (3ème volet I.G.C.S.).

Ces petites régions constituent le pont avec le 2ème volet du programme IGCS. Celui-ci comporte l'élaboration en leur sein de typologies régionales de sols en vue d'une gestion raisonnée des terres (et des eaux) à l'échelle des parcelles et des exploitations agricoles. L'idée centrale est d'établir d'abord, à partir de la cartographie détaillée d'une zone représentative, un modèle décrivant la structure et le fonctionnement de la couverture pédologique de chaque petite région. On recherche ensuite des références agronomiques et/ou technologiques garantissant, pour chaque type de sol, la bonne interprétation des données pédologiques en termes de recommandations ou de conseils concrets et fiables.

L'approche cartographique comporte deux étapes (Favrot, 1989) (figure 3). Dans la première, grâce à la cartographie détaillée (échelle 1/10.000) d'une aire échantillon appelée secteur de référence (1000 ha) représentative de la petite région, l'inventaire des types de sols régionaux est réalisé. Le modèle de distribution spatiale de ces sols est identifié, conduisant à

Figure 2 - Banque de Données des sols régionaux : schéma et tableau d'agrégation des entités spatiales et leurs relations hiérarchiques.



Partition de l'espace	Définition / relation
Petite Région Naturelle (PRN)	$= \Sigma UPP$
Unité Pédopaysagère (UPP)	$= \Sigma US$
Unité de Sol (US)	$= \Sigma horizons$
Horizon	<i>Volume élémentaire</i>

(Source : Bornand, Falipou)

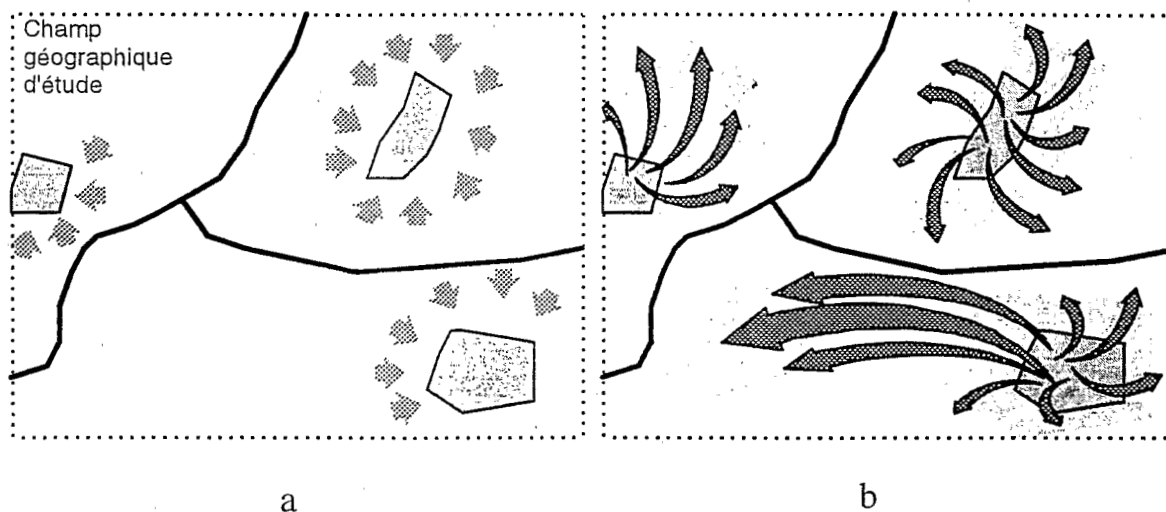


Figure 4 - Découpage semi-automatisé des UC(a) et transcription des références détaillées à des vastes espaces(b)
(d'après JM. Robbez-Masson 1994 et Ph. Lagacherie 1992)

une clé de détermination utilisable par des non spécialistes. En outre, à chaque type de sol est associé un ensemble de recommandations pratiques qui varient en fonction de l'objectif technique de l'étude (mode de drainage, écartement des drains, doses d'arrosage, fertilisation). Ces références sont déduites des propriétés des sols et de démarches complémentaires : enquêtes (recensement et analyse critique des résultats d'expériences régionales), expérimentation (légère ou lourde), modélisation. Dans la deuxième étape, ces références sont appliquées après une phase d'identification cartographique des types de sols sur les parcelles à aménager.

Le 3ème volet de l'IGCS concerne l'élaboration de *structures de banques de données* garantissant une bonne possibilité de mise en mémoire informatique et de mobilisation des informations acquises (Bertrand et al., 1979 ; Gaultier et al., 1993). Ces structures combinent des procédures harmonisées et emboîtées de descriptions des unités de sols (unités cartographiques pédopaysagères, unités élémentaires de sols, strates, horizons, profils) et des systèmes d'informations géographiques (King et al., 1994a et b) (cf. fig n°1).

Actuellement, en France, près d'un tiers du territoire est concerné par l'élaboration de référentiels régionaux et quelques centaines de petites régions naturelles agricoles et/ou forestières (sur 1400) ont fait l'objet de typologies régionales de sols (Favrot, 1987). Le Languedoc-Roussillon (28 000 km²) a constitué une région pilote pour la conception, la mise en oeuvre et l'application d'un référentiel régional. Il a aussi bénéficié d'études de secteurs de référence appliqués au drainage agricole puis à l'irrigation (Duclay et al., 1996 ; Laporterie, Arnal, 1986 ; Panis, 1985).

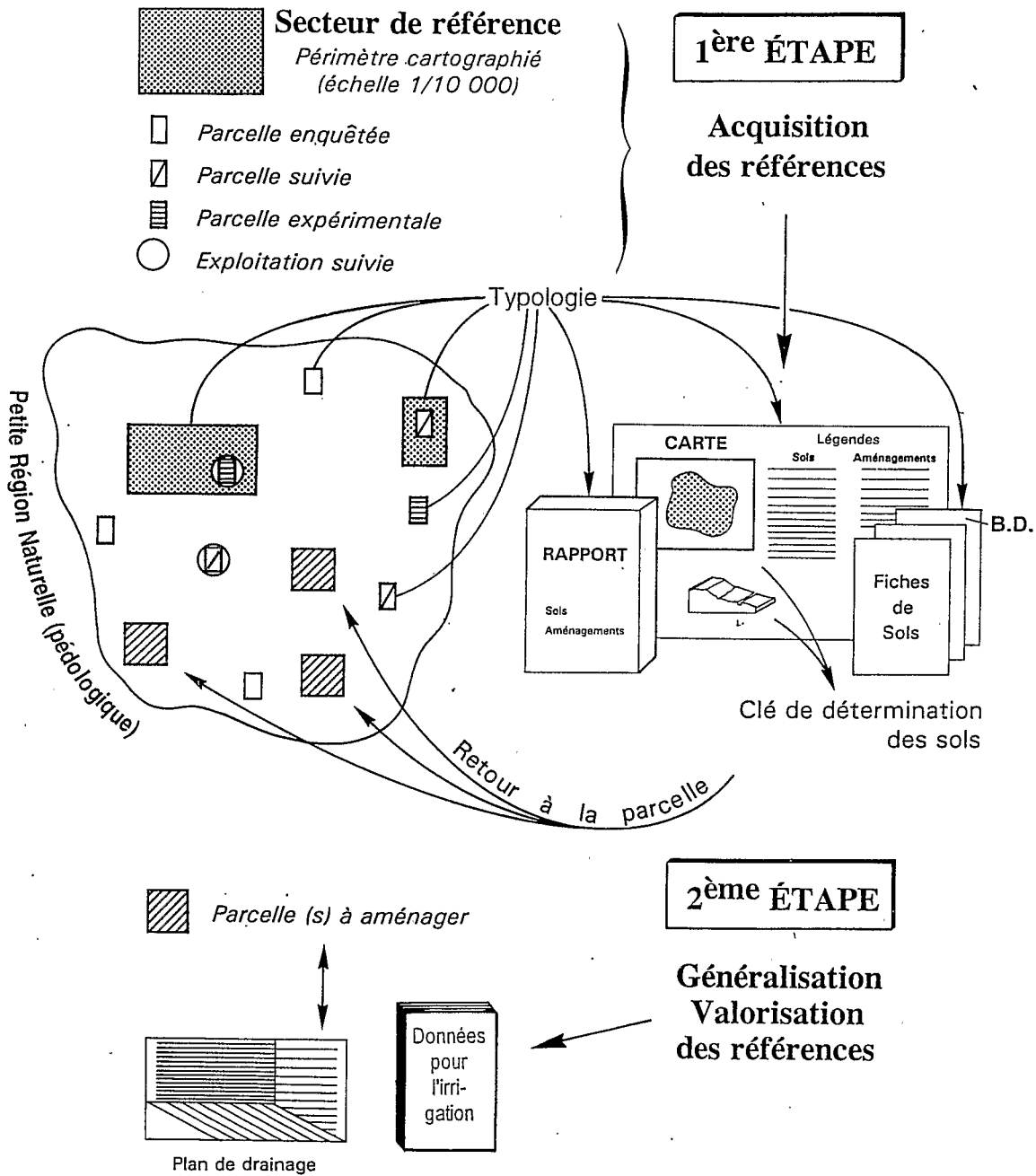
2 - PEDOPAYSAGES ET GESTION DE L'EAU EN LANGUEDOC-ROUSSILLON.

Le Languedoc-Roussillon, s'étend des bords de la Méditerranée jusqu'au coeur du Massif Central (1800 m en Margeride et Cantal) et aux extrémités orientales des Pyrénées (2700 m dans les massifs du Carlit et du Canigou). Il présente une grande diversité géo-pédo-climatique. Celle-ci se traduit au plan pédologique par l'existence de 82 petites régions naturelles, avec plus de 400 unités cartographiques identifiées (regroupant 702 unités de sols), réparties en 4 150 plages cartographiques. L'élaboration de ce référentiel pédologique régional a combiné des levés de terrain sur la moitié du territoire et la synthèse d'inventaires de sols préexistants pour l'autre moitié (Rouzet, 1992). Au total, plus de 2800 profils pédologiques (décrits et analysés) ont été entrés dans la base (Bornand et al., 1993, 1994).

Il a d'abord fallu acquérir l'information dans sa globalité (terrain + télédétection). Ensuite, il a été nécessaire de rentrer toutes ces données sous le format informatique et standard conçu (Donesol : Gaultier et al., 1993 ; Legros, 1991). La vérification de la qualité des données (Legros et al., 1992) est en cours avant que la base puisse passer dans une phase de gestion opérationnelle.

A partir de cette banque de données, plusieurs *sorties thématiques ont pu être réalisées*, en relation avec la gestion de l'eau au plan régional. Une *carte des réserves utiles en eau du sol (RU)* (Bornand, Falipou, 1996) a ainsi été élaborée qui se cantonne dans un premier temps, aux seuls territoires agricoles (un peu moins la moitié de la région soit 13 000 km²). Sa réalisation a posé divers problèmes méthodologiques. Il a fallu d'abord attribuer une RU à chaque unité de sol (US) composant les unités cartographiques (UC). Pour cela, l'une ou l'autre des approches suivantes a été mise en oeuvre : i) mesures au laboratoire des différents

Figure 3 - Principes et étapes de la méthode des secteurs de référence.



points de la courbe $\psi(\theta)$ et traitement statistique de données de base sur les composantes de la RU (teneur en eau à la capacité de rétention, Hr, et au point de flétrissement, Hf ; densité apparente Da, profondeur du sol) ; ii) établissement de fonctions de pédotransferts reliant Hr, Hf, Da, à la granulométrie des sols, (Arrouays et Jamagne, 1993) ; iii) évaluation de la RU à "dire d'expert". Ensuite, chaque fourchette de valeurs de RU attribuée à une UC a été affectée d'un coefficient de représentativité spatiale de cette RU, tenant compte de la proportion relative des autres US (à RU différentes) composant l'UC.

Cette carte des réserves utiles en eau constitue un document de base particulièrement précieux pour la gestion du milieu régional (milieu méditerranéen), où l'eau est un des facteurs limitants majeurs. D'autres cartes thématiques finalisées ont été élaborées, à partir de cette donnée en la croisant avec d'autres couches d'informations. Ainsi a été réalisée une "*carte des possibilités de diversification des cultures après arrachage de la vigne*" (100.000 ha de vignobles arrachés en 10 ans, encouragés par des primes de la Communauté Européenne destinées à lutter contre la surproduction de vin de consommation courante). La RU a alors été croisée, grâce aux SIG, avec le climat (P-ETP, gel), les structures foncières agricoles (parcellaire morcelé ou non), les possibilités d'irrigation (proximité de réseaux collectifs), le statut des vignes (appellation d'origine contrôlée ou non) et le contexte socio-économique (technicité des viticulteurs, successeurs possibles ou non). Pour induire une nouvelle dynamique de l'agriculture du Languedoc, les professionnels ont aussi cherché à induire des mesures favorisant la limitation des rendements viticoles. Ils ont évidemment pensé à favoriser *le maintien de la vigne dans les terroirs, où la qualité est potentiellement meilleure*. Pour ce faire, on a cherché à construire un outil capable d'estimer et de localiser ces espaces avec une précision géographique suffisante. Partant du modèle de bilan hydrique de Riou modifié et en s'appuyant sur les découpages régionaux au 1/250.000 en pédopaysages, ainsi que sur un réseau de stations climatiques, on a pu rendre compte des situations pédoclimatiques rencontrées pour différentes périodes climatiques. On a ainsi construit des indices spécifiques cartographiables (3 niveaux de déficit hydriques et 3 fréquences d'apparition dans le temps), en utilisant les résultats du fonctionnement du modèle et en l'associant au Système d'Information Géographique construit régionalement. Malgré des imprécisions évidentes, et la nécessité de calage et de validation, ces diagnostics constituent une aide à la gestion de l'espace rural, permettant d'orienter les choix pour l'avenir.

Autre thème, tenant compte de la RU et de la perméabilité du sol, une "*carte d'aptitude à l'épandage des composts*" a été établie pour la région de Montpellier (Legros et al., 1992). Dans ce cas, l'évaluation des possibilités maximum d'épandages et leur localisation a nécessité le croisement des données pédologiques avec des données lithologiques (roches karstiques ou non), topographiques (importance des pentes), végétales (garrigue, vigne, ou céréales).

La fiabilité de ces sorties finalisées dépend évidemment de la qualité du référentiel régional pédologique, traduite par une labellisation en 3 niveaux (IGCS, 1993). Cette qualité suppose d'abord de bonnes définition et délimitation des UC. Pour cela, en Languedoc-Roussillon des procédures semi-automatisées de délimitation des pédopaysages (cf. fig n°4a) ont été mises au point, exploitant soit des données aisément disponibles et fortement corrélées avec le sol (relief, lithologie : logiciel CLAPAS, Robbez-Masson 1994 ; Robbez-Masson et al., 1995), soit des données satellitaires et la télédétection (Girard et al., 1989, 1993). Les procédures sont simplement conçues pour servir de "pré-zonages" ; elles constituent des aides précieuses au pédologue dans sa campagne de terrain et dans sa stratégie d'échantillonnage. Elle permettent d'alléger, mais non de supprimer, les nombreuses investigations de terrain qui sont encore nécessaires pour vérifier la pertinence des découpages et pour bien comprendre les modes de distribution et de fonctionnement hydrique des sols à l'échelle des paysages.

3 - SECTEURS DE REFERENCE, TYPOLOGIES REGIONALES DE SOLS ET GESTION PARCELLAIRE DES SOLS ET DES EAUX.

La méthode des secteurs de référence a été appliquée sur l'ensemble du territoire français dans les années 1980 pour une mise en oeuvre raisonnée du drainage agricole (Favrot, 1981, 1987). Il s'agissait de proposer aux acteurs régionaux du drainage (chargés d'études, géomètres, agents du Génie Rural, conseillers agricoles, entrepreneurs, association d'agriculteurs) des données aptes à concevoir, réaliser puis valoriser des réseaux de drainage efficaces, pérennes, au moindre coût, conciliant productivité agricole et protection de l'environnement. Dans ce cadre, en Languedoc, plusieurs petites régions naturelles, dont deux régions contiguës "La Piège" et le "Razés" (département de l'Aude) ont fait l'objet d'une telle démarche (Laporterie et Arnal, 1986). Il s'agit de régions vallonnées, situées sur des dépôts alluviaux et sur des formations molassiques (marnes sableuses hétérogènes). L'excès d'eau est ponctuel (sorties sourceuses en mouillères) sur les pentes et généralisé en milieu alluvial.

La superficie des P.R.N. étant de l'ordre de 50.000 et 20.000 ha, les aires échantillons retenues pour inventorier et caractériser les sols régionaux ont été de 500 et 700 ha, réparties en 4 sous-secteurs destinés à représenter les grands types de variabilité litho-morphologique. Pour chacun des 15 types de sols définis dans chaque PRN, les références apportées ont concerné : le degré d'hydromorphie, la forme et l'origine de l'excès d'eau, le mode de drainage (captage et/ou réseau systématique), le dimensionnement des réseaux (écartement, diamètre, profondeur des drains), l'engin de pose préconisé (draineuse trancheuse ou sous-soleuse), les matériaux conseillés (enrobage ou remblai poreux éventuels) et les recommandations en vue de l'après drainage (aptitudes culturales, travail du sol, fertilisation,...). Pour cela, une enquête auprès d'agriculteurs ayant drainé en "pionnier" avait permis d'évaluer les modalités techniques les plus appropriées et les avantages agro-économiques de cet aménagement (Panis, 1985). La restitution de l'étude, outre le dossier classique (carte + rapport), s'est faite sous forme de réunions en salle et de tournées de terrain avec les agriculteurs et leurs techniciens régionaux.

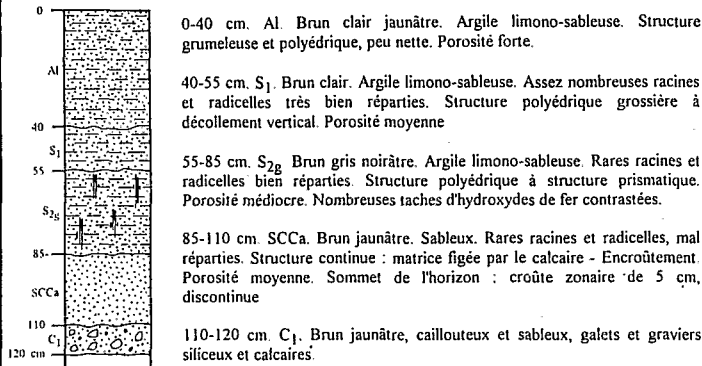
Dans les années 1990, la méthode des secteurs de référence a été appliquée à l'irrigation, également dans le cadre d'une opération nationale, (Favrot, 1993). Trois territoires, couvrant chacun plusieurs petites régions naturelles, ont été étudiés en Languedoc-Roussillon : la plaine biterroise (Hérault), la vallée de l'Agly (Pyrénées Orientales) et l'Ouest Audois (Aude). L'objectif global des études était de proposer de nouvelles cultures et de nouvelles techniques d'arrosage susceptibles d'économiser et de valoriser l'eau au mieux, dans un contexte économique très évolutif (politique agricole commune) avec systèmes de primes annuelles destinées à freiner certaines productions (vigne) et à en favoriser d'autres (blé dur, semences). L'étude pédologique a dû s'intégrer d'avantage ici dans un ensemble d'études décrivant le milieu physique (climat, avec approche fréquentielle, ressources en eau) et le milieu socio-économique (typologie de fonctionnement des exploitations agricoles, filière de production, de transformation, de commercialisation des cultures), (Favrot et al., 1996).

Sur le plan pédologique, comme précédemment, l'objectif a été l'élaboration d'une typologie de sols par petite région (Duclay et al., 1996). Mais, pour chaque type de sols, la nature et l'interprétation des données diffèrent sensiblement (figure 5). Il s'agit d'abord ici d'évaluer avec précision les réserves utiles en eau et la perméabilité du sol. Cela implique, si possible, le couplage de mesures périodiques in situ (tensiométrie, humidimétrie, infiltrométrie) sur quelques sites représentatifs de sols importants, avec des mesures plus systématiques en laboratoire (Hr, Hf). Ces données orientent notamment les modes et modalités d'arrosage (type de technique, doses, fréquence). Il s'agit ensuite de traduire les propriétés des sols en termes

SÉRIE		SÉRIE DE SOL N°5	
0	UNITÉ GÉOGRAPHIQUE :	Plaines alluviales récentes	
5	UNITÉ CARTO PÉDOPAYSAGÈRE (UC) :	Plaines alluviales	
CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES			
A	Sol profond (>100 cm)		
7	de texture fine sur grossière (Als sur S ou SS)		
C	peu calcaire (> 7% calcaire actif)		
H	à hydromorphie accentuée de 50 à 80 cm		
JAc Fluvisol brunifié calcaire hydromorphe			
SITUATION DANS LE PAYSAGE :		Centre de la plaine	
GÉOLOGIE - ROCHE - MÈRE :		Alluvions fines holocènes du Tréboul	
TOPOGRAPHIE :		Pente <2-3 %. Altitude du profil type : 135 m	

DESCRIPTION DU PROFIL TYPE (N° LS3-4.69)

Surface mottueuse et grumeleuse - Labour
Plan d'eau à 80 cm.



VARIANTES :
Localement hydromorphie moins accentuée et/ou très caillouteux en profondeur.

CARACTÉRISTIQUES ANALYTIQUES

Hor.	Ei gros %	GRANULOMÉTRIE					Mat. org. %	Calcaire %		pH eau	CEC	Cat. éch. me/100g			He %	Da
		A	LF	LG	SF	SG		tot.	act.			Mg	K	Na		
Al	5	30	29	22	12	7	1,1	23	6	7,8	18,9	2,3	0,3	0,3	23	1,5
S ₁	2	37	22	12	14	15		14	3	8,0	22,0	2,7	0,3	0,3	24	1,6
S _{2g}	3	32	16	11	18	23		14	12	8,0	20,7	3,9	0,2	0,3	22	1,6
SCCa	70	9	12	10	18	51		38	8	8,3	3,6	1,2	0,1	0,3	15	-
C ₁	14	4	7	6	17	66		21	3	8,5	4,8	1,7	0,1	0,2	9	1,4

RFU MOYENNE : 0 à 30 cm : 39 mm ; 0 à 60 cm : 78 mm ; 0 à 120 cm : 101 mm.

TYPE DE SOL : IV	NOM : SOLS ARGILO-CALCAIRES PROFONDS HYDROMORPHES avec NAPPE en profondeur
SÉRIES : 5, 39, 6	

LOCALISATION DU SOL	
- Plaines alluviales récentes ou fonds de vallons évasés à fond plat	
ROCHE MÈRE	
Alluvions fines du Fesquel ou du Tréboul ; ou colluvions sur marne du Bartonien	
VARIANTES	
- Hydromorphie plus ou moins accentuée	
ATOUPS	CONTRAINTES
- Sols profonds	- Hydromorphie
- Bonne RU	- Travail du sol difficile
- Bon niveau de fertilité	- Flaquage fréquent
- Bonne résistance à la sécheresse	

APTITUDES CULTURALES GÉNÉRALES	BONNES A TRÈS BONNES DIFFICILES EN PRINTEMPS HUMIDES
---------------------------------------	--

CULTURES ENVISAGEABLES	TOUTES LES CULTURES D'ÉTÉ SONT ENVISAGEABLES , cependant le flaquage risque de favoriser le développement de maladies. Présente des risques pour la culture du soja. Eviter le pois de printemps
-------------------------------	---

RENDEMENTS POTENTIELS (en q/ha)											
Blé dur		Pois de printemps		Tournesol (sec)		Soja		Sorgho sec		Sorgho irrigué	
fourchette de rendements		fourchette de rendements		fourchette de rendements		fourchette de rendements		fourchette de rendements		fourchette de rendements	
35	79	35	55	17	30	20	35	50	80	70	90

RÉSERVE UTILE (mm/cm de sol)			RÉSERVE FACILEMENT UTILISABLE (mm/cm de sol)		
0-30 cm	0-60 cm	0-120 cm	0-30 cm	0-60 cm	0-120 cm
16	16	16	1	1	1

AMÉLIORATIONS ENVISAGEABLES	CONTRAINTES IRRIGATION
- DRAINAGE	- L'irrigation est difficile à mener sur ce type de sols. En effet, les apports d'eau effectués trop tard sont souvent perdus (fentes de retraits). Et, un excès d'eau peut provoquer l'asphyxie racinaire
L'IRRIGATION N'EST PAS ENVISAGEABLE SUR CE TYPE DE SOL SANS DRAINAGE PRÉALABLE	

Figure 5 - Exemples de typologie des sols et de typologie appliquée à l'irrigation (type IV = séries 5, 6, 39) tirées de l'étude du secteur de référence irrigation de l'Ouest Audois (BRL, 1994).

d'aptitudes culturales vis-à-vis des productions bénéficiant de débouchés et susceptibles de rentabiliser les investissements. Ces données doivent pouvoir être intégrées dans des modèles facilitant la composition et la conduite de la sole irriguée des exploitations (LORA, IRRISA ; RNED-HA, 1995). Les données hydropédologiques fournies facilitent enfin le pilotage des arrosages. Elles permettent d'une part de bien adapter aux parcelles irriguées, les recommandations des "avertissements à l'irrigation", et d'apporter d'autre part, des informations utiles pour l'installation, le suivi et l'interprétation de dispositifs de mesure (de l'état hydrique du sol) par l'agriculteur lui-même : type de matériel, profondeur d'installation, localisation des tensiomètres par exemple (Favrot et al., 1996).

Sur le plan méthodologique, tous ces travaux ont permis des avancées importantes dans plusieurs domaines. Tout d'abord des procédures de simulation informatique de la démarche cartographique ont été mises au point pour produire automatiquement de nouvelles cartes de sols, à grande et moyenne échelle, dans la petite région naturelle, à l'extérieur du secteur de référence (figure 4b). Faisant appel aux principes de l'intelligence artificielle, elles exploitent les lois chorologiques (relations sols-relief-géologie) et les lois de voisinage entre sols dégagées de la cartographie détaillée de l'aire-échantillon (Lagacherie, 1992 ; Lagacherie et al., 1995 ; Ledreux et al., 1994). Ensuite, on a pu proposer des estimations et des évaluations sur la qualité des prédictions ainsi réalisées, tant dans le domaine de la cartographie des sols (Lagacherie et al., 1994 ; Lagacherie and Holmes, 1997 ; Cazemier et al., 1997), que dans celui des propriétés hydrodynamiques des sols (Leenhardt et al., 1994a et b ; Voltz et al., 1997).

CONCLUSION

A partir d'applications décrites en Languedoc-Roussillon, représentatives d'actions menées dans beaucoup d'autres régions françaises, il apparaît possible de proposer une gestion conjointe des ressources en eau et en sol applicables sur de vastes portions du territoire.

En France, les approches emboîtées de cartographie des sols -régionales et locales-articulées à partir de la petite région naturelle, constituent des voies opérationnelles pour conduire à une agriculture et à un développement durables. Pour une bonne appropriation et une valorisation concrète des données pédologiques par leurs destinataires, décideurs et techniciens, il convient aussi que ces inventaires s'intègrent parfaitement dans des études plus vastes. Celles-ci doivent considérer globalement, l'ensemble des composantes des milieux physiques et humains à aménager. Cela suppose, une implication de plus en plus importante des pédologues au sein de programmes pluridisciplinaires, avec une ouverture croissante vers les disciplines socio-économiques notamment.

BIBLIOGRAPHIE

- ARROUAYS D., JAMAGNE M., 1993. Sur la possibilité d'estimer les propriétés de rétention en eau de sols limoneux lessivés hydromorphes du Sud-Ouest de la France à partir de leurs caractéristiques de constitution. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 79, 1 : 111-121.
- BERTRAND R., FALIPOU P., LEGROS J.P., 1979. Notice pour l'entrée des descriptions et analyses de sols en banque de données. Document IRAT-INRA Montpellier. SES n°487.
- BORNAND M., BONFILS P., DELCROS Ph., LAGACHERIE Ph., LEGROS J.P., LEDREUX C., ROBBEZ-MASSON J.M., SIMON S., 1989. Possibilités de reconversion en grandes cultures des zones viticoles languedociennes. Intérêt de l'utilisation d'un SIG. *C.R. Acad. Agric. de France.*, 75, n°9 : 69-78.

- BORNAND M., ARROUAYS D., BAIZE D., JAMAGNE M., 1989. Cadre méthodologique d'une cartographie régionale des sols à l'échelle 1/250.000. *Science du Sol* : 27 : 17-20.
- BORNAND M., LEGROS J.P., ROUZET C., 1993. La banque de données des sols régionaux du Languedoc-Roussillon. Présentation, conception et possibilités d'exploitation. *Revue Ecole Sup Agric Purpan* ; 166 : 15-22.
- BORNAND M., LEGROS J.P., ROUZET C., 1994. Les banques régionales de données sols. Exemple du Languedoc-Roussillon. *Etude et Gestion des Sols*, n°1 : 67-82.
- BORNAND M., LAGACHERIE Ph., ROBBEZ-MASSON J.M., 1995. Cartographie des pédopaysages et gestion de l'espace. Une méthode d'analyse, de caractérisation et de modélisation de la couverture pédologique. Actes des Rencontres *Cartographie et gestion des espaces naturels*. St. Etienne :1-9.
- BORNAND M., (de) LAROCHE E., LEGROS J.P., (à paraître). Soil water balance of the vineyards of the Languedoc. A tool for rural area management. *16ème Congrès Mondial de Science du Sol. Symposium 35*.
- BORNAND M., FALIPOU P., 1996. La réserve en eau des plaines en Languedoc-Roussillon. Première évaluation. Tentative de spatialisation. *SESIInra Montpellier* : 28p + 8 cartes.
- BOUMA J., DE LAAT P.J., AWATER R.H.C.M., VAN HEESEN H.C., VAN HOLST AF., VAN DE NES TH.J., 1980a. Use of soil survey data in a model for simulating regional soil moisture regimes. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 44 : 808-814.
- BOUMA J., DE LAAT P.J.M., VAN DE NES TH.J., 1980b. Predicting the effects of changing water-table levels and associated soil moisture regimes for soil survey interpretations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44 : 797-802.
- BURROUGH P.A., 1988. Modelling land qualities in space and time : the role of Geographical Information Systems, in : Land qualities in space an time. Proceedings of a symposium organized by the *International Society of Soil Science (ISSS)*, Wageningen. Netherlands, 22-26 August 1988. J. BOUMA and A. K. BREGT (editors) : 45-59.
- CAZEMIER D.R., LAGACHERIE Ph., MARTIN-CLOUAIRE P., 1997. Use of fuzzy-information extracted from a regional pedological map. In "First CASSINI international workshop" data quality in GI : from error uncertainty. (R. Jeansoulin and M.F. Goodchild, eds), in Press Paris. France.
- DUCLAY E., JACQUINET J.C., LAPORTERIE J.M., 1996. Typologie des Sols du secteur de références irrigation de l'Ouest Audois. SICA Irrig. Ouest Audois. *Chambre d'Agric. de l'Aude* : 66p.
- FAVROT J.C., 1981. Pour une approche raisonnée du drainage agricole en France. La méthode des secteurs de référence. *C.R. Acad. Agric* : 716-723.
- FAVROT J.C., 1987. Etudes et recommandations préalables au drainage : la méthode des secteurs de référence. Enseignements et prolongements de l'opération drainage ONIC-Ministère de l'Agriculture (1980-1985). *CR Acad. Agric. Fr.* 73, 4 : 23-32.
- FAVROT J.C., 1989. Une stratégie d'inventaire cartographique à grande échelle : la méthode des secteurs de référence. *Science du Sol*, 27 (4) : 351-368.
- FAVROT J.C., 1993. Secteur de référence et gestion parcellaire des sols. L'exemple de l'irrigation. *Revue Ecole Sup. Agric Purpan*, 166 : 37-45.
- FAVROT J.C., ARROUAYS D., BORNAND M., GIRARD M.C., HARDY R., 1994. Informatisation et spatialisation de la ressource sol : le programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols. *Cahiers de l'Agri.* 3 : 237-246.
- FAVROT J.C., ISBERIE C., KOSUTH P., ZIMMER D., 1996. Secteurs de références et connaissance du milieu physique : sols, climat, ressources en eau. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 82, 5 : 37,54.
- GAULTIER J.P., LEGROS J.P., BORNAND M., KING D., FAVROT J.C., HARDY R., 1993. L'organisation des données pédologiques spatialisées : le projet Donesol. *Revue de Géomatique* ; 3 : 235-53.

- GIRARD M.C.; 1995. Apport de l'interprétation visuelle des images satellitaires pour l'analyse spatiale des sols. Un exemple dans la région de Lodève. *Etude et Gestion des Sols*, 2 : 1-24.
- GIRARD M.C., GIRARD C.M., 1989. Télédétection appliquée. Zones tempérées et intertropicales. Paris, Masson : 260 p.
- GIRARD M.C., SOYEUX E., BORNAND M., YONGCHALERMCHAI C., 1993. Structuration de l'espace régional et protection des ressources naturelles. *CR Acad Agri Fr* ; 79 : 37-50.
- IGCS, 1993. Cahiers des clauses techniques générales et Cahier des charges déontologiques. Document multigrade. Paris : DERF, *Ministère de l'Agriculture* : 12p et 11p.
- JAMAGNE M., HARDY R., KIND., BORNAND M., 1995. La base de données géographiques des sols de France. *Etude et Gestion des Sols* 2 : 153-172.
- LAGACHERIE Ph., 1992. Formalisation des lois de distribution des sols pour automatiser la cartographie pédologique à partir d'un secteur pris comme référence. Thèse de doctorat, *Science du Sol*, Université Montpellier. Montpellier INRA : 175p.
- LAGACHERIE Ph., 1997. From soil surveys to Soil Information Systems : the french experience XXVI. Congresso Brasileiro de Ciencia do Solo. Rio de Janeiro. 20-26 Juillet 97 : 23p.
- LAGACHERIE Ph., ANDRIEUX P., and BOUZIGUES R., 1994. Fuzziness and uncertainty of soil boundaries : from reality to coding in GIS. In "Spatial Conceptual Models for Geographic Objects with undermined Boundaries (P.A. Burrough and A. Franck, eds). Taylor and Francis. Baden. Austria : 257-287.
- LAGACHERIE Ph., LEGROS J.P., BURROUGH P., 1995. A soil survey procedure using the knowledge of soil pattern established on a previously mappe reference area. *Geoderma*, n°65 : 283-301.
- LAGACHERIE Ph. and HOLMES S., 1997. Adressing geographical Data errors in classification tree for soil unit predictions. *Int. J. Geographical Information Science*. 11 : 183-198.
- LEDREUX C., LAGACHERIE Ph., JEANSOULIN R., 1994. Le projet SAPRISTI version 2 : Système d'aide à la prédiction intelligente des sols par traitement informatique. *Rev. Internat. de Géomatique*, Vol 4 : 9-37.
- LAPORTERIE J.M., ARNAL H., 1986. Etudes préliminaires en vue du drainage des terres agricoles. Département de l'Aude. Secteurs de référence des côteaux de la Piège et du Razès. BRL Nîmes. Rapports : 133 et 137p + cartes des sols et de drainage 1/10.000.
- LAROCHE (de) E., 1994. Contribution à la phase de prototypage du Système d'Information Géographique du Languedoc-Roussillon. Présentation de deux applications pilotes pour la Gestion de l'Espace Rural. Mémoire de MASTERE SILAT : 51 p.
- LEENHARDT D., VOLTZ M., BORNAND M., et WEBSTER R., 1994. Evaluating Soil Map for prediction of soil water properties. *European Journal of Soil Science*, 45 : 293-301.
- LEENHARDT D., VOLTZ M., BORNAND M., 1994. Propagating of the error of spatial prediction of soil properties in simulating crop evapotranspiration. *European Journal of Soil Science*, 45 : 303-310.
- LEGROS J.P., 1996. Cartographies des Sols. De l'analyse spatiale à la gestion des territoires. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes : 321 p.
- LEGROS J.P., BORNAND M., DE VIRON J.C., 1992. Recherche des zones aptes à l'épandage de composts urbains dans la région de Montpellier (Hérault, France). In : *Gestion de l'espace rural et SIG*. Coll. Florac. Versailles : INRA : 229-39.
- PANIS E., 1985. Etude du fonctionnement hydrique des sols engorgés des secteurs de référence Piège - Razès. INRA Montpellier. BRL Nîmes. Mémoire DAA : 56p.
- RNED-HA., 1995. La conduite de l'irrigation. De la stratégie au pilotage de l'irrigation. Ed. CEMAGREF : 124p.

- ROBBEZ-MASSON J.M., 1994. Reconnaissance et délimitation des motifs d'organisation spatiale. Application à la cartographie des pédopaysages. *Thèse ENSAM* : 173p + 8 annexes.
- ROBBEZ-MASSON J.M., BORNE F. and GIRARD M.C., 1995. Description et segmentation de motifs d'organisation spatiale. Application à l'obtention d'esquisses paysagères. In. Colloques EPS. INRA. "Etude des phénomènes spatiaux en agriculture". (P. Monestiez et S. Lardon, eds). INRA Edition. La Rochelle France.
- ROBITAILLE A., 1989. Cartographie des districts écologiques. Normes et techniques. Ministère des Forêts. Québec : 111 p.
- ROBITAILLE A., 1992. Cartographie des districts écologiques : concepts, objectifs, méthodes et documents générés. Doc. ER-3145. Services des Informations Forestiers, Québec : 10 p.
- VOLTZ M., LAGACHERIE Ph. and LOUCHART X., 1997. Predicting soil properties over a region using sample information from a mapped reference area. *European Journal of Soil Science*, 48 : 19-30.
- WOSTEN J.H.M., BOUMA J. and STOFFELSEN G.H., 1985. Use of soil survey data for regional soil water simulation models. *Soil. Sci. Sol. Am. J.* 49 : 1238-1244.

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Bornand, M.; Favrot, J. C. - Cartographie des sols et gestion de l'eau, depuis l'échelle régionale jusqu'à l'échelon parcellaire : l'exemple en France du Languedoc-Roussillon, pp. 405-418, Bulletin du RESEAU EROSION n° 18, 1998.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr