

# Une stratégie d'inventaire cartographique à grande échelle : la méthode des secteurs de référence

J.-C. FAVROT<sup>(1)</sup>

## RESUME

Afin d'acquérir une connaissance détaillée des sols à l'échelle des petites régions naturelles, et en vue d'y permettre une gestion raisonnée des terres à l'échelon parcellaire, notamment grâce au drainage, la méthode des secteurs de référence associe (selon des procédures bien définies) une double démarche :

— la conduite d'inventaires cartographiques en deux temps : d'abord l'étude hydro-pédologique approfondie d'une aire échantillon représentative de la petite région ; ensuite, au coup par coup, la prospection, plus allégée, des parcelles à aménager ;

— la recherche de références technologiques et agronomiques régionales — nécessaires pour la formulation de recommandations techniques concrètes — par la voie d'enquêtes et d'expérimentations bien reliées au cadre pédologique.

Depuis 1980, la méthode a été appliquée dans une centaine de petites régions naturelles françaises.

**MOTS CLES :** Cartographie des sols - Echelle détaillée - Pédologie appliquée - Drainage - Secteur de référence.

## A STRATEGY FOR LARGE SCALE SOIL MAPPING : THE REFERENCE AREAS METHOD

*The rentability of an agricultural investment (for instance drainage) requires to match properly technical choices with farmer wishes, natural environment constraints, and farm socio-economical features. Consequently, concrete technical and scientific references, adapted to various possible cases are needed.*

*Reference areas method was conceived and used in order to provide them. It deals with small natural areas, wide from some ten thousands of hectares. It is based on detailed mapping (1/10 000 scale) and on thorough characterization of typical sample area (about wide 1000 ha) soils. This survey is completed by a critical analysis of results of regional experiments (surveying of previously drained fields). If necessary, experimental drainage networks are settled and monitored. The final purpose is to associate agronomical and technological advices with the soils inventory, useful both to drainage networks realization and drainage field managing. After identifying soil units at patch scale, references are applied to each surveyed field (« retour à la parcelle ») (fig. 1). Representativity of reference areas method has been successfully tested in 5 small natural regions (fig. 2 - Tabl. 1 et 2). The method has been applied in about one hundred French small natural regions with national (ONIC - Ministry of Agriculture Operation - 1980-1985 - fig. 2) and regional grants.*

**KEY WORDS :** Soil survey - Detailed mapping - Applied pedology drainage - Reference area.

(1) INRA - Laboratoire de Science du Sol, 9, place Viala, 34060 Montpellier Cédex.

## INTRODUCTION

L'une des caractéristiques principales des inventaires détaillés de sols est leur *objectif appliqué*. Dans bien des cas en effet, leur demande vise au diagnostic des modalités d'amélioration du potentiel de production d'un territoire donné. Les objectifs les plus fréquents sont l'établissement de conseils agronomiques (choix de systèmes de culture, adaptation d'itinéraires techniques) et la recherche de recommandations techniques précises en vue de la conception d'aménagements fonciers (drainage : fig. 3, irrigation). La protection de l'environnement (délimitation de périmètres de captage de sources, définition de programmes d'épandages d'effluents domestiques ou industriels), ainsi que la gestion forestière (schémas de replantation) sont également à l'origine de cartes à grande échelle.

Il existe en fait une grande variété d'études pédologiques détaillées qui se différencient par la nature du maître d'ouvrage (exploitant isolé, structure professionnelle, administration), l'objectif recherché (réponse rapide à un problème précis ou éléments d'information pour la planification) et l'extension de la zone d'étude. A cet égard, deux situations principales se rencontrent, l'une de type local, qui va de la parcelle à l'exploitation agricole ou au bassin versant élémentaire, l'autre à caractère micro-régional, intégrant la commune, la petite région naturelle, voire le département. Dans le premier cas, où l'agriculteur est directement concerné, l'échelle de cartographie varie du 1/2000 au 1/5000 et l'étude doit apporter une information immédiate, opérationnelle, destinée à une intervention concrète. Dans le deuxième cas, les cartes sont rendues au 1/10 000 ou au 1/25 000 ; s'adressant à des « techniciens », elles apportent une connaissance approfondie sur l'organisation régionale de la couverture pédologique et permettent un raisonnement argumenté quant aux diverses modalités d'utilisations de l'espace (carte des sols du département de l'Aisne au 1/25 000, inventaires en cours au 1/25 000 en Ile et Vilaine, en Mayenne (BORNAND et al., 1987).

Evidemment, seule une couverture systématique à très grande échelle (1/5 000) — telle qu'elle existe en Pologne ou en URSS par exemple — pourrait apporter les données pédologiques nécessaires aussi bien pour la gestion parcellaire du sol que pour la programmation régionale d'actions de développement ou de mise en valeur. Ceci est bien sûr incompatible avec les moyens financiers et les effectifs de pédologues disponibles actuellement dans notre pays (CESTRE et al., 1984).

Par ailleurs, pour *répondre efficacement* aux questions techniques qui lui sont posées, le pédologue doit franchir trois étapes successives.

— Acquérir une information précise sur *la nature, les comportements et la distribution des sols* du territoire concerné, en faisant appel à des critères cartographiques pertinents, et en recourant à des méthodes d'investigations adaptées ;

— Rechercher des *références agronomiques et/ou technologiques* fiables, calées sur la réalité régionale, afin d'interpréter et de traduire les données (brutes) précédentes en termes de recommandations et de conseils ;

— Exprimer ses conclusions sous des formes directement opérationnelles et facilement accessibles aux utilisateurs, lesquels ne sont pas toujours familiarisés avec les techniques et le langage de la pédologie.

La deuxième condition est souvent la plus difficile à remplir, d'autant que les milieux agricoles français sont très variés. Elle exige non seulement une compétence dans le domaine d'application abordé, mais aussi des investigations assez longues s'il n'existe pas de références régionales pré-établies. Pourtant, elle relève de la clause d'« obligation de moyens » inhérente aux garanties et responsabilités associées à la fonction de chargé d'étude (HERVE, 1980).

Pour tenter de respecter ces impératifs et de concilier les diverses démarches nécessaires — dans un contexte de coût et de délais raisonnables — une stra-

tégie d'étude des sols à grande échelle a été proposée à la fin des années 1970 : la méthode des secteurs de référence (FAVROT, 1978-81 ; FAVROT et al., 1981). Conçue pour la conduite des études préalables au drainage — mais transposable à d'autres domaines — elle a été mise en œuvre dans une centaine de petites régions naturelles françaises, et Outre-Mer, notamment dans le cadre de l'opération nationale financée par l'ONIC et le Ministère de l'Agriculture entre 1980 et 1985 (FAVROT, 1987 ; FAVROT et al., 1984 ; HERVE et al., 1983 ; LAGACHERIE et al., 1987).

Les enseignements de cette opération vont être présentés ci-après, en abordant successivement les fondements de la méthode puis les modalités de réalisation des diverses étapes proposées.

## I. PRINCIPE ET BASES DE LA METHODE

### A) DÉMARCHE D'ÉTUDE

Dans son *principe*, la méthode consiste à conduire d'abord une cartographie pédologique détaillée (échelle 1/10 000) et une caractérisation approfondie (morphologique, physico-chimique, hydrodynamique) des sols d'une aire échantillon — appelée secteur de référence — bien représentative d'une petite région naturelle. Ensuite, l'étude hydro-pédologique est complétée par l'analyse critique des résultats d'expériences régionales (examen de réseaux de drainage préexistants) et, si nécessaire, par l'installation puis le suivi de dispositifs expérimentaux. Le but recherché est l'élaboration du fichier des sols régionaux avec, pour chacun d'eux, un ensemble de références associées, c'est-à-dire la formulation

## PRINCIPES ET ETAPES DE LA METHODE DES SECTEURS DE REFERENCE

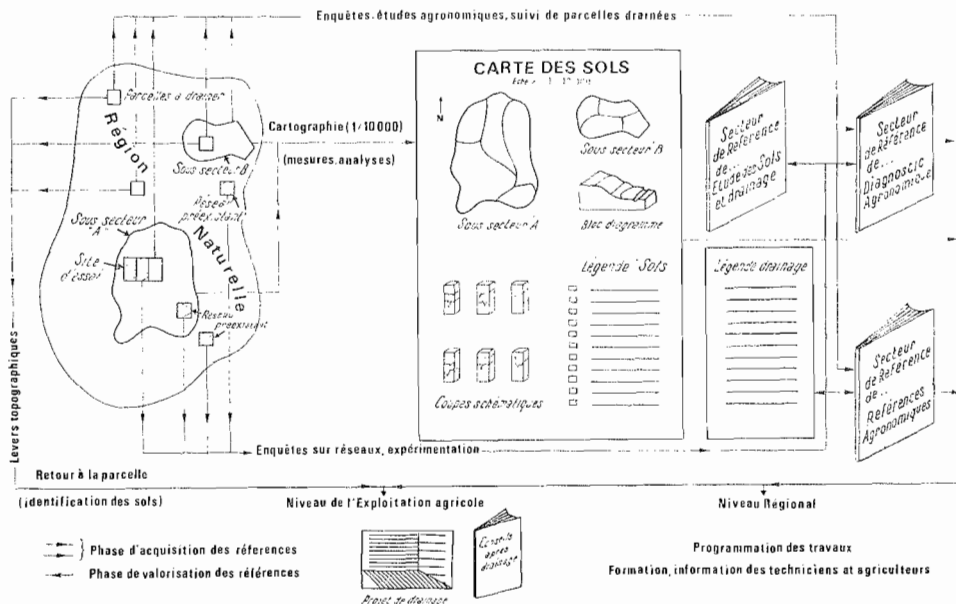


Figure 1 : Principes et étapes de la méthode des secteurs de référence.

*Mainspring and stages of reference areas method.*

claire de recommandations technologiques et agronomiques utilisables à la fois pour la conception des plans-projets (fig. 3) puis pour la conduite des terres aménagées. Dans un deuxième temps, l'adoption de ces références à l'échelon parcellaire — phase toujours nécessaire — passe par une identification des sols, lors d'une projection de terrain relativement allégée (pas ou peu de profils). Celle-ci doit permettre le rattachement des sols rencontrés aux unités du répertoire de base. Cette opération dite de « retour à la parcelle » est évidemment facilitée par les connaissances déjà acquises sur la nature et le mode de distribution des sols.

## B) CONCEPTS DE PETITE RÉGION NATURELLE ET DE SECTEUR DE RÉFÉRENCE

Le territoire d'application de la méthode est la *petite région naturelle* (pédologique). Celle-ci se caractérise par une grande unité aux plans climatique, géologique et topographique, situation qui entraîne également une bonne homogénéité dans les domaines pédologique et agronomique. Dans une petite région naturelle, la couverture pédologique comprend un nombre fini d'unités de sols identifiables. En outre, les règles de distribution des sols dans le paysage (relations sols-relief, sols-géologie, sols-végétation,...) et les relations de contiguïté entre unités (toposéquences) varient peu d'un point à l'autre du territoire. Une petite région naturelle constitue l'équivalent ou un sous-ensemble d'une petite région agricole comprise au sens physiographique et socio-économique habituel de l'INSEE (1982). Par exemple, au sein de la petite région agricole Bresse — présente dans les départements de l'Ain, du Jura, de la Saône et Loire, de la Côte d'Or —, il existe plusieurs petites régions naturelles (Bresse de l'Ain, Bresse jurassienne, Bresse louchanaise,...), qui présentent à la fois des sols communs et des sols spécifiques.

Dans la pratique, la délimitation préalable d'une petite région naturelle, phase nécessaire pour la localisation d'un secteur de référence, est réalisée en combinant des reconnaissances de terrain et l'examen de documents cartographiques à moyenne échelle (cartes pédologiques au 1/50 000 et 1/100 000 ; cartes géologiques au 1/50 000 et 1/80 000) avec l'aide des techniciens et agro-pédologues régionaux. Cette délimitation peut être précisée a posteriori sur la base de critères géomorphologiques et pédologiques spécifiques, définis à l'issue de l'étude du secteur de référence.

Statistiquement, d'après un échantillon de 70 études (LAGACHERIE et al., 1987 ; FAVROT, 1987), la superficie moyenne d'une petite région naturelle est de l'ordre de 30 000 hectares. Cette valeur intègre en fait des situations variées, depuis les terroirs de très faible extension, de quelques milliers d'ha (Combe de Savoie) jusqu'à des régions très étendues, dépassant 100 000 ha (Wœvre dans la Meuse, Lévézou dans l'Aveyron).

La composition et l'organisation de la couverture pédologique d'une petite région dépend évidemment de la diversité du contexte géologique (stratigraphie, pétrographie) et topographique (accidents du relief). Le nombre d'unités cartographiques — critère révélateur de cette diversité (mais dépendant aussi de la démarque cartographique, synthétique ou analytique) — varie ainsi de moins de quinze unités dans certaines régions (Landes sableuses, Bresse de l'Ain, Plateau Lorrain) à plus de quarante dans plusieurs autres (Pays de Bray, Noyonnais, Bessin, Bretagne Centrale,...). Le chiffre moyen obtenu pour 70 études est de 28.

Pour le Développement Agricole, la petite région naturelle — qui a la dimension d'un ou plusieurs cantons — constitue un cadre favorable aux actions de formation et d'information des agriculteurs. La diffusion des résultats d'étude et d'expérimentation est en effet mieux assimilée quand le milieu concerné est bien identifié géographiquement et qu'il est bien connu, sous ses aspects édaphiques et socio-économiques, par les exploitants concernés.

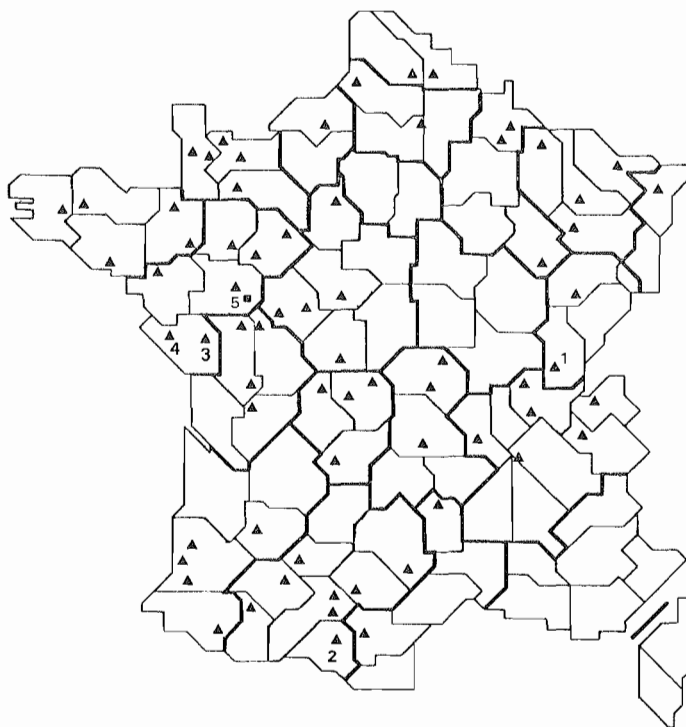


Figure 2 : Localisation des 70 secteurs de référence de l'opération ONIC - Ministère de l'Agriculture et situation des petites régions ayant fait l'objet de tests de représentativité 1 : Bresse Jurassienne (39) ; 2 : Vallée de l'Ariège (09) ; 3 : Synclinorium de Chantonnay (85) ; 4 : Bas-bocage vendéen (85) ; 5 : Mauges (49).

70 ONIC - Ministry of Agricultural reference areas localization and little regions where reference area representativity was tested (1 : Bresse jurassienne (39) ; 2 : Vallée de l'Ariège (09) ; 3 : Synclinorium de Chantonnay (85) ; 4 : Bas-bocage vendéen (85) ; 5 : Mauges (49).

Au plan théorique, *le secteur de référence*, est le plus petit territoire au sein duquel il est possible d'observer et de caractériser la quasi-totalité des sols de la petite région naturelle dont il dépend. En fait, en général, la superficie de cette aire échantillon est fixée a priori et elle est de l'ordre de 1 000 ha. Des modulations sont effectuées en fonction de la complexité du milieu et de l'existence ou non d'informations pédologiques. Ainsi le chiffre précédent pourra être accru dans les régions à couverture pédologique complexe et dépourvues de données, elle sera sensiblement réduite lorsque le schéma géo-pédologique s'avère assez simple et/ou s'il existe déjà des cartes de sols à moyenne échelle. Pour bien rendre compte de l'inventaire pédologique régional, un secteur de référence pourra être divisé en deux ou trois sous-secteurs distincts, situés sur les différentes composantes du cadre géo-pédologique régional.

Dans la méthode, par construction, la petite région naturelle est assimilée à la *zone de représentativité stricte* du secteur de référence, c'est-à-dire au territoire au sein duquel les sols identifiés dans l'aire échantillon représentent plus de 80 à 90 % de la superficie totale. Par extension, la *zone de représentativité lâche* du secteur de référence désigne le territoire où les sols identifiés dans ce dernier ont une moindre extension spatiale ; avec une superficie moyenne de l'ordre de 100 000 ha, il s'agit souvent de la petite région agricole au sens INSEE.

Tableau 1 : Caractéristiques générales des 5 petites régions et des secteurs de référence retenus pour les tests de représentativité (opération ONIC - Ministère de l'Agriculture - in LAGACHERIE et al., 1987).

*Main features of the 5 little regions and their reference area chosen for representativity test (ONIC - Ministry of Agriculture operation - In LAGACHERIE et al., 1987).*

Région naturelle	Département	Superficie P R N en ha	Superficie du S.R. en ha	Nombre de sous-secteurs	Superficie des retours à la parcelle en ha	Nbre de parcelles (*)	Géologie	Chargé d'étude		Nombre d'unités cartographiques S.R.	Nombre de sondages tarière	Nombre de profils
								du S.R.	retour à la parcelle			
Bresse Juras-sienne	Jura	8.000	540	2	350	60	sables argiles limons	INRA	2 bureaux d'études	17	1 pour 1,2 ha	1 pour 12 ha
Vallée de l' Ariège	Ariège	15.000	500	3	515	47	alluvions anciennes	CACG	SAFER	15	1 pour 2,3 ha	1 pour 14 ha
Synclorium de Chantonay	Vendée	10.000	420	2	500	10	basaltes rhyolites schistes	DDAF	DDAF	24	1 pour 0,8 ha	1 pour 10 ha
Bas Bocage	Vendée	30.000	1.200	3	415	38	r. sédi-mentaires granite limons	DDAF	DDAF + Bureaux d'études	26	1 pour 1,7 ha	1 pour 40 ha
Mauges ( Choletais )	Maine et Loire	18.500	1.400	3	660	171	schistes limons	INRA	CANA	19	1 pour 1,7 ha	1 pour 19 ha
Valeurs moyennes pour 70 S.R.	57 départements	30.100	947	2,5	570	-	-	-	-	28	1 pour 1,4 ha	1 pour 23 ha

( \* ) : ou groupe de parcelles correspondant à 1 seul retour à la parcelle. S.R. = Secteur de Référence  
P.R.N. = Petite Région Naturelle

## C) TESTS D'ÉVALUATION DE LA REPRÉSENTATIVITÉ DES SECTEURS DE RÉFÉRENCE

Pour tenter de quantifier le degré de représentativité d'un secteur de référence, des confrontations ont été faites, dans cinq petites régions naturelles, entre les données issues de la cartographie de parcelles isolées (retours à la parcelles, cartes 1/2 000 en général) et celles de l'inventaire pédologique régional établi à l'issue de l'étude de l'aire-échantillon.

Les cinq régions choisies — Bas Bocage vendéen (85), Bresse jurassienne (39), Mauges (49), Synclinorium de Chantonnay (85) et vallée de l'Ariège (09) (cf. fig. 2) — diffèrent par leur étendue (8 000 à 30 000 ha), par leur contexte géopédologique (granites, schistes, alluvions, limons...), par les modalités et les résultats des travaux cartographiques réalisés (superficies respectives du secteur de référence et des retours à la parcelle, densité des sondages et profils, nombre d'unités de sols identifiées), et par l'origine des pédologues étant intervenus (tabl. 1).

La méthode de travail retenue a consisté, par petite région, à planimétrer sur chaque carte de retour à la parcelle la superficie des unités de sols délimitées et à mesurer la distance (en km) des parcelles concernées au centre du sous-secteur de référence le plus proche. La comparaison, avec le fichier régional pré-établi, a porté sur l'importance en nombre et en superficie, puis sur la localisation des unités « nouvelles » c'est-à-dire des unités ne figurant pas dans le fichier pédologique du secteur de référence. Les constatations suivantes ont pu être dégagées (tab. 2) :

— *le nombre d'unités nouvelles* rencontrées lors des retours à la parcelle peut être relativement *élevé* puisqu'il atteint presque le quart (23 %), en moyenne du total des unités identifiées. Il y a des variations régionales importantes, avec des valeurs passant de 13 % en Bocage vendéen à 37,5 % dans la vallée de l'Ariège ;

— en revanche, la *superficie* occupée par ces *mêmes unités nouvelles* est toujours *très faible*, ne dépassant pas 9 % (2,7 à 8,6 %, en moyenne : 6,4 %) ;

Une explication de ce contraste entre le nombre (assez élevé) et l'extension (très faible) des unités nouvelles pourrait être, entre autres, le changement d'échelle et d'objectif intervenant lors du retour à la parcelle. En effet, alors que sur le secteur de référence, le pédologue — qui dispose d'une densité moindre d'observations — a une approche volontairement synthétique et s'attache à dégager les unités de sols significativement différentes au plan régional (par leur extension, leur comportement), lors des reconnaissances parcellaires, l'attitude est plus analytique, la densité des observations est plus grande, conduisant à l'individualisation d'unités de sols même très localisées.

— sauf exception (Bas Bocage vendéen), *l'importance* en superficie des *unités nouvelles* croît lorsqu'on s'éloigne du secteur de référence (en moyenne et en superficie le pourcentage passe de 4,3 % à moins de 2 km, à 7,7 % entre 5 et 10 km).

En matière de drainage agricole, si l'on évalue l'extension des unités nouvelles qui ont réellement influencé la conception du plan-projet des parcelles étudiées (écartement des drains, choix de matériels et matériaux particuliers), pour les Mauges et pour la Bresse jurassienne, ces unités ne représentent plus respectivement que 2,3 et 2,0 % des surfaces cartographiées lors des retours à la parcelle.

L'étude de ces cinq zones tests montre donc que l'objectif fixé dans le protocole proposé — identifier et caractériser au moins 80 à 90 % (en surface) des sols présents dans la petite région naturelle — est généralement atteint, même si, en nombre, les unités non identifiées peuvent être relativement abondantes.

Tableau 2 : Importance en nombre et en superficie des unités de sols identifiés lors des retours à la parcelle. Incidence de l'éloignement des parcelles par rapport au secteur de référence (in LAGACHERIE et al., 1987).

*Importance (in number and surface) of soil units mapped in fields to be drained. Effect of distance between reference area and surveyed fields.*

	Bresse jurassienne (Chaumergy-39)		Vallée de l'Ariège (Mazères-09)		Syn. de Chantonnay (Pouzauge-85)		Bas-Bocage Ven- déen (Palluau-85)		Région des Mauges (Chemillé-49)		TOTAL	
	Unités du secteur	Unités nouvelles	Unités du secteur	Unités nouvelles	Unités du secteur	Unités nouvelles	Unités du secteur	Unités nouvelles	Unités du secteur	Unités nouvelles	Unités du secteur	Unités nouvelles
Nombre d'unités	17	7	15	9	24	6	26	4	19	8	101	34
% en nombre	70,9%	29,1 %	62,5 %	37,5 %	80,0 %	20,0 %	86,7 %	13,3%	70,4 %	29,6 %	74,3%	25,7 %
Surface cartographiée, en ha, à une distance au secteur de réfé- rence : < 2 km	24	0	166	0	244,8	14,3	190,4	19,6	134,4	0	760	33,9
% en surface		0		0		5,8 %		10,2 %		0		4,3 %
de 2 à 5 km	92,8	3,7	170	13,3	255,2	28,9	194,6	9,8	269,6	15,43	982,2	71,1
% en surface		3,8 %		7,8 %		11,3 %		5 %		5,4 %		6,7 %
de 5 à 10 km	240,6	9,3	162,6	14,9	0	0	1,65	0	206,2	26,7	611	51
% en surface		3,7 %		9,1 %						11,4 %		7,7 %
Superficie totale en hectares	344,4	13	486,7	28,3	456,8	43,2	385,6	29,4	618,15	42,15	2291,15	156,15
% en surface	96,3 %	3,7 %	94,5 %	5,5 %	91,4 %	8,6 %	92,9 %	7,1 %	93,6 %	6,4 %	93,6 %	6,4 %



## II. CONDUITE ET EXPRESSION DES ÉTUDES

La méthodologie proposée englobe le recueil de deux grands ensembles d'informations, le premier relatif aux sols, bien replacés dans le contexte géomorphologique et hydrologique régional, le second a trait aux références scientifiques, technologiques et agronomiques nécessaires pour l'interprétation de l'inventaire cartographique.

### A) CARTOGRAPHIE ET CARACTÉRISATION DES SOLS

#### 1. Principes généraux

La cartographie d'un secteur de référence conduit d'abord à la définition et à la délimitation d'unités de sols « pédologiquement » homogènes, sur la base de critères géomorphologiques et édaphiques normalement accessibles à l'échelle du 1/10 000. L'inventaire ainsi établi se veut exhaustif et non assujéti à un objectif appliqué immédiat (le drainage par exemple). La description des sols est ensuite exprimée en termes de comportements (hydrique, physique, trophique,...) puis traduite enfin sous forme de recommandations techniques concrètes. Concernant la première phase, l'objectif est aussi d'arriver à une bonne compréhension de l'organisation et du fonctionnement de la couverture pédologique régionale. Cela implique notamment une volonté permanente d'identification des lois de distribution des sols dans le paysage et la recherche des relations fonctionnelles (transferts hydriques) pouvant exister entre unités (FAVROT, 1978, 1985).

Comme dans toute prospection cartographique (GIRARD, 1983), les critères utilisés sont constitués d'un nombre limité de « variables d'état » ou caractères permanents du sol d'accès aisé, bien reliés aux autres facteurs du milieu (relief, géologie, occupation du sol). Les levés reposent beaucoup plus sur des paramètres morphologiques, directement accessibles sur le terrain, que sur des données tirées de déterminations analytiques (hors le cas des milieux halomorphes). En matière de drainage, l'accent est mis sur les critères révélateurs du régime hydrique des sols (nature, netteté, profondeur d'apparition des signes d'oxydo-réduction du fer (FAVROT et al., 1976 ; VIZIER, 1982) et sur ceux rendant compte de la dynamique porale et structurale des sols (BOUZIGUES et al., 1984).

La cartographie de type « free-survey » (LEGROS, 1978), avec des observations implantées en fonction du modelé géomorphologique local est préférée à des investigations menées selon une grille de points fixée a priori (hors le cas des zones planes des plaines fluvio-marines). En outre, le tracé des limites est généralement effectué directement sur le terrain. Enfin, malgré une certaine perte d'informations, la démarche synthétique, conduisant à décrire explicitement chaque unité cartographique, est préférée à l'approche analytique qui vise une définition des sols à partir d'une codification a priori de paramètres.

#### 2. Notion d'unité cartographique

Dans la méthode des secteurs de référence, le type d'unité cartographique retenu implique un « comportement agronomique » homogène, conduisant à un type d'utilisation ou d'aménagement unique (même mode de drainage par exemple). Cette unité doit aussi pouvoir être facilement reconnue dans toute la petite région. Il s'agit généralement d'une unité cartographique « simple » mais pouvant accepter une certaine variabilité de l'un ou de plusieurs caractères du sol (profondeur, texture) si cela ne nuit pas à sa signification agro-pédologique. Pratiquement, ce type d'unité tend globalement vers la notion de série de sol (BOULAIN, 1980 ; CPCS, 1967). Dans certains milieux hétérogènes, des unités

complexes sont définies lorsqu'il n'est pas possible, ou souhaitable, d'identifier et/ou de représenter sur la carte, les diverses composantes « homogènes » de la couverture pédologique.

Par convention, la pureté de ces unités cartographiques — c'est-à-dire le pourcentage de l'aire de l'unité répondant parfaitement à la définition donnée en légende — ne devrait pas être inférieure à 80-90 %. Ces valeurs sont celles retenues également aux Etats Unis (Soil Survey Staff, 1951). A noter toutefois que le taux effectif d'impuretés, mesuré lors de contrôles a posteriori, dépasse souvent les valeurs souhaitables. BURINGH et al., 1962, obtiennent par exemple des chiffres de l'ordre de 30 %. Mais la vérification du respect de ces seuils de pureté implique des investigations assez importantes (MARSMAN et al., 1986). La précision recherchée pour les limites est de 30 à 40 m pour les cartes au 1/10 000 (FAVROT, 1978). Pour tendre vers ces objectifs, le nombre de sondages à la tarière demandé est d'au moins 1 pour 1 à 2 ha, suivant la complexité du milieu. En fait, il a été en moyenne de 1 pour 1,4 ha pour 70 études de secteurs de référence. Lors des retours à la parcelle (échelle 1/2 000) ce nombre est au moins doublé. Par ailleurs, chaque unité cartographique, selon son extension et son hétérogénéité relative apparente, sera caractérisée, aux plans morphologique et physico-chimique, par l'examen et l'analyse d'au moins un profil pédologique. En moyenne, cette condition est remplie avec l'ouverture d'un profil tous les 20 à 25 ha.

Si, par définition, la variabilité interne d'une unité cartographique doit être inférieure à celle devant exister entre deux unités, elle est en fait difficilement évaluable systématiquement. Divers travaux concourent précisément à cerner les incertitudes — liées aux critères et techniques actuels de cartographie — attachées à cette notion. En particulier, la mise en œuvre de méthodes de géostatistique (BREGT, 1985 ; GASCUEL-ODOUX, 1984 ; VOLTZ, 1986) permet d'évaluer cette variabilité spatiale. Ces méthodes conduisent en outre à évaluer, à partir de la cartographie, la densité souhaitable d'observations et de mesures en vue de la prévision de tel ou tel comportement hydro-pédologique (variations saisonnières du niveau d'une nappe, de la teneur en eau) avec une précision donnée (BOUMA et al., 1980 a, b ; Mc BRATNEY et al., 1983 ; WEBSTER, 1985 ; WOSTEN et al., 1895 ; STEIN et al., 1988). A noter qu'à grande échelle (1/5 000) la comparaison de cartes thématiques (réserve utile en eau, profondeur d'apparition d'un horizon) obtenues soit à partir d'une carte des sols « conventionnelle », soit par traitement géostatistique de données ponctuelles, ne révèle pas de différences de pureté significatives entre les deux approches (BREGT et al., 1987 ; VAN KUILENBURG et al., 1982).

L'analyse structurale (BOULET et al., 1982), grâce à la multiplicité et à la variété des investigations, permet également de mettre en évidence pour un même milieu (la savane guyanaise par exemple), la variabilité propre à l'organisation pédologique fine d'unités cartographiques identifiées à l'échelle du 1/10 000 (FAVROT et al., 1987).

Dans le cas des sols hydromorphes, des essais de quantification de la variabilité spatiale des caractéristiques hydrodynamiques ont été tentés. Ainsi, confirmant d'autres résultats (VAUCLIN, 1983 ; WILDING et al., 1983), CAUCHIE et al., 1982, en Pays d'Ouche et GONZALES-CASTILLAS, 1985, en Sologne ont montré que le coefficient de variation de la conductivité hydraulique horizontale à saturation, mesurée sur une même parcelle, était assez élevé. Il dépend aussi de la méthode de mesure : 17 % pour la méthode des puits et piézomètres, 38 % pour la méthode du trou de tarière, pour un planosol de Sologne par exemple. Toutefois, une certaine évaluation de cette variabilité peut être faite à partir des caractéristiques morphologiques des sols, orientant les modalités de mise en œuvre des mesures (ANDERSON et al., 1973 ; BOUMA, 1983, 1986).

Dernier cas, la réponse du sol au drainage peut également révéler une variabilité spatiale au sein d'unités de sols apparemment homogènes. Ainsi, la mise

en évidence de coefficients de restitution différents pour des réseaux élémentaires de drainage adjacents — situés sur une terrasse moyenne de la Garonne — a conduit à l'identification de deux faciès structuraux. Cette variabilité est liée ici à l'imbrication, dans une unité de sol lessivé à pseudogley de faciès présentant un horizon argillique soit de structure prismatique, soit de structure à tendance verticale (FAVROT et al., à paraître).

### 3. Techniques nouvelles de cartographie

Divers travaux ont été entrepris ces dernières années (BOULAINÉ, 1980) en vue d'améliorer la rapidité et la qualité des inventaires cartographiques à grande échelle, notamment dans les milieux où les techniques traditionnelles sont en défaut, cas des sols caillouteux et des régions naturelles dont les unités de sols se caractérisent par une faible extension et une forte imbrication. Deux expériences ont été tentées dans ce domaine sur des secteurs de référence représentatifs de ces milieux « difficiles ».

Ainsi en matière d'adaptation à la pédologie de méthodes géo-physiques, la magnéto-tellurique artificielle permet maintenant, en sol pierreux, d'estimer la profondeur d'apparition de substrats rocheux. En présence de mouillères, elle facilite aussi la localisation en profondeur des couches porteuses d'eau (GAUTHIER 1987). Cette technique utilise des équipements tractables plus opérationnels que la résistivité (BOTTRAUD et al., 1984) ou la sismique réfraction (MEYER, 1984) dont les résultats, dans d'autres milieux, sont également satisfaisants.

Dans les sols cultivés des Landes sableuses, c'est le recours à une émulsion infra-rouge couleur, qui a permis de cartographier au mieux, à l'échelle du 1/10 000, les variations très rapides des sols constituant la séquence podzolique, variations liées à l'irrégularité du micromodèle local (RUSH, 1985). A terme, lorsque le pouvoir de résolution des images satellite (20-30 m) sera encore amélioré, il sera possible de les utiliser pour réaliser des inventaires cartographiques détaillés (GIRARD et al., 1988).

Dans un troisième domaine, en informatique, les efforts portent à la fois sur l'adaptation du matériel aux techniques cartographiques (saisie portable pour la description directe des profils sur le terrain, infographie,) sur la réalisation de bases de données (STIPA, « sol-drainage »,...), mais aussi sur l'élaboration de logiciels devant faciliter à terme la valorisation des données pédologiques. Ainsi, complémentaires aux logiciels généraux d'analyse des données de sols (ex. SPAD, ADDAD, TABET, etc.), des programmes d'évaluation automatique de la ressemblance entre sols ont été mis au point, tenant compte de la spécificité des problèmes pédologiques : mélange de variables qualitatives et quantitatives, nécessaire intégration de données connues au niveau des horizons, etc. (ex. : projets DIMITRI, SOSIE ; GIRARD et al., 1988 ; LEGROS, 1987). Des recherches sont aussi en cours tendant à modéliser — à l'aide de systèmes experts — le rattachement d'une observation ponctuelle à une unité de sol (BAILLE et al., 1988), première étape d'une modélisation complète de la démarche cartographique adoptée à la suite de l'étude d'un secteur de référence.

### 4. Interprétation de l'unité cartographique

En pédologie appliquée, si le souci de rigueur et de précision dans les investigations doit être permanent, il ne doit pas dévier toutefois vers un perfectionnisme coûteux et inutilisable. Le travail d'inventaire doit être conduit d'une part en fonction des possibilités réelles d'interprétation des données acquises en termes de conseils agronomiques et de recommandations techniques et traduit d'autre part, sous forme de documents opérationnels, définissant des règles d'action (BOULAINÉ, 1980).

En drainage, par exemple, l'unité cartographique doit permettre d'abord de choisir le mode de drainage, celui-ci étant directement lié aux propriétés intrin-

sèques du sol (nécessité d'un enrobage autour des drains, d'un taupage associé au drainage). En revanche, le choix de l'écartement entre drains qui dépend de la variabilité des propriétés hydrodynamiques de l'unité — que l'on sait non négligeable — mais aussi de paramètres extrinsèques (présence d'un ancien modelé du sol, choix du type de système de culture après drainage), ne sera fixé que plus globalement (« fourchettes » d'écartement) et ne justifiera pas la multiplication excessive de mesures lourdes in situ.

Par ailleurs, au niveau de l'exploitation des données pédologiques, l'utilisateur a souvent davantage besoin d'un regroupement des unités cartographiques, que d'une multiplication de celles-ci. Le concepteur de drainage, par exemple, pour élaborer un plan-projet compatible avec le fonctionnement des draineuses modernes sera amené à proposer des réseaux avec un nombre de panneaux de drains limités, autorisant une longueur optimale pour ces derniers. Il y a alors souvent regroupement d'unités contiguës avec choix des dispositions constructives dépendant de l'unité la plus contraignante.

Dans le domaine agronomique, de même, pour le conseil des techniques culturales, un regroupement sera fait en fonction de la texture de la couche de surface et des propriétés de portance du sol (liées à l'hydromorphie).

## B) DÉMARCHES ASSOCIÉES

La recherche de références technologiques et agronomiques régionales, par la voie *d'enquêtes*, constitue une étape importante de la méthodologie proposée. En matière de drainage, l'analyse rigoureuse puis la formalisation claire de l'expérience acquise régionalement vise en fait à mettre en évidence le mode de réponse au drainage des principaux types de sols. Ce travail comprend deux volets : la conduite d'entretiens avec les agriculteurs puis l'examen in situ des ouvrages drainants.

Concernant le premier point, outre la localisation dans l'espace et dans le temps d'anomalies éventuelles de fonctionnement des réseaux, il convient d'évaluer l'efficacité à long terme de ces derniers. Cela se fait notamment en se référant à des durées de ressuyage du sol, après un épisode climatique donné, pour une opération culturale précise (labour, épandage d'azote, mise à l'herbe du bétail,...) et en comparaison à la fois avec des sols sains et avec des sols hydromorphes comparables non drainés.

L'étude détaillée de profils sur drains menée suivant une démarche pédologique (observations macro et micro-morphologiques, analyses physico-chimiques, mesures de densité apparente) permet d'estimer la dynamique porale inter-annuelle dans la tranchée de drainage et la probabilité d'apparition ou de poursuite de phénomènes de colmatage des drains. Ces accidents résultent, entre autre, d'une mauvaise stabilité structurale du sol ou de l'intervention, conjoncturelle ou non, de processus biochimiques de précipitation du fer. L'observation de profils culturaux permet de relever d'éventuels obstacles (semelle de labour) au transfert de l'eau vers la tranchée de drainage.

Lorsqu'il n'existe encore aucune expérience pour l'aménagement de certains sols difficiles, une *expérimentation* est mise en place. Plusieurs techniques (écartement des drains, engins de pose différents, recours ou non au drainage-taube ou au sous-solage) — et un témoin non drainé — sont suivis pendant plusieurs années, sur des parcelles élémentaires pédologiquement et agronomiquement homogènes, de 1 à 2 ha de superficie chacune.

Suivant les moyens disponibles, le protocole expérimental prévoit soit un suivi « léger » (observations périodiques du cycle végétatif de la culture, mesure des rendements à l'interdrain et sur le drain, examen de profils sur drain, piézométrie), soit un suivi « lourd » lorsqu'il y a en outre des mesures régulières in situ (pluviométrie, piézométrie, tensiométrie, humidimétrie, débit-métrie, voire composition des eaux de drainage), avec relevés à pas de temps

courts, horaire le plus souvent (CEMAGREF, 1984 ; HERVE, 1982). Ces derniers essais apportent en outre d'utiles informations pour la compréhension du bilan hydrique des sols étudiés (valeur de la réserve en eau, proportion relative des flux ruisselés et infiltrés, date d'apparition des saisons de drainage, etc. (FAVROT, 1984).

Dans le cas du drainage agricole, en confrontation avec les différentes voies précédentes, l'interprétation des données pédologiques fait également appel à la *modélisation hydraulique*. L'introduction de paramètres mesurés ou évalués in situ (conductivité hydraulique, porosité de drainage, profondeur du plancher imperméable), dans les formules du régime permanent ou du régime transitoire de tarissement (GUYON, 1971 ; LESAFFRE et al., 1987), déduites des lois de transfert d'eau dans les sols et éprouvées par l'expérimentation au champ, fournit d'utiles indications pour le calcul de l'écartement entre files de drains.

### C) EXPRESSION DES RÉSULTATS

La traduction et la diffusion des résultats des études de secteurs de référence (2 millions d'ha directement intéressés et 6 millions d'ha partiellement concernés par les 70 études réalisées de 1980 à 1985) prennent plusieurs formes :

Sur le *plan régional*, trois voies sont à conjuguer :

- la mise en mémoire, sous forme d'un *dossier complet* (cartes, — fig. 3 — rapports, annexes analytiques), des nombreuses informations recueillies par le chargé d'étude. Ces documents, multipliés en une centaine d'exemplaires, s'adressent aux techniciens régionaux ;

- la traduction des conclusions de ces études, sous forme de *plaquettes simplifiées*, bien illustrées, à l'usage des conseillers agricoles généralistes et des agriculteurs. A cet égard, la digitalisation actuelle des cartes de sols permet la sortie rapide de documents thématiques à la demande (sensibilité à la battance acidité « potentielle » des sols, réserves en eau...). De même, l'élaboration automatique de blocs diagrammes représentatifs de la couverture géo-pédologique régionale, via les modèles numériques de terrains fournis par l'Institut Géographique National, facilite la restitution des données (LAGACHERIE, 1987) ;

- la présentation directe par le pédologue, sur le *terrain*, des principaux résultats de son étude.

Sur le *plan national*, la mise à disposition des innombrables données recueillies (2000 unités de sols identifiées, 2800 profils décrits dont 1900 analysés, 270 mesures hydrodynamiques effectuées par la méthode puits-piezomètres, 380 profils sur drains étudiés pour 70 secteurs de référence), prend deux formes principales :

- l'élaboration d'une base de données relationnelles « sols-drainage » ;

- la diffusion de rapports (LAGACHERIE et al., 1987) et de cartes de synthèse : carte de France de l'hydromorphie à l'échelle des petites régions naturelles et de localisation des secteurs de référence (LAGACHERIE, 1987).

### D) CADRE ORGANISATIONNEL


Pour être pleinement opérationnelle, la méthode des secteurs de référence doit intervenir dans un contexte permettant tout à la fois de mobiliser les moyens nécessaires (financiers, humains), d'utiliser les diverses compétences existantes, d'assurer la concertation et la cohérence entre intervenants, à l'échelle d'une petite région naturelle. Pour cela, plusieurs conditions, parfois contraignantes, sont à réunir :

- formulation explicite à l'origine d'un besoin de références émanant des techniciens, des décideurs et/ou des agriculteurs régionaux ;


## LÉGENDE SOL

## II - SOLS DE PENTE


## Texture moyenne

- 3  Sol limoneux, brun gris à brun olivâtre, taché de rouille dès la surface, sur argile limoneuse bariolée ocre et gris apparaissant entre 20 et 40 cm de profondeur (sol lessivé à pseudogley tranqué)

## Texture fine

- 8  Sol limano-argileux à argila-limaneux, brun à taches rouille, sur argile brun jaune apparaissant vers 30 cm puis argile à grains calcaires vers 100 cm (pélasal vertique hydromarphe)

## III - SOLS DE BAS DE PENTE ET DE FOND DE TALWEGS

- 13  Sol limoneux, brun grisâtre, taché de rouille, puis beige jaunâtre taché de rouille et brun vers 30 cm sur limon argileux bariolé apparaissant à partir de 70 cm (sol calluvial à pseudogley)

## IV - SOLS DES VALLÉES ET ANCIENS ÉTANGS


- 15  Sol limano-argileux, brun taché de rouille, sur argile limoneuse brun-gris et rouille avec taches orangées vers 50 cm puis argile bleutée avec taches rouilles apparaissant  
a) entre 50 et 80 cm de profondeur,  
b) entre 80 et 100 cm de profondeur (sol alluvial à gley)

Figure 3 :

Extraits des légendes de la carte des sols et de drainage du secteur de référence de la Bresse Comtoise (Jura).  
(LAGACHERIE, 1984)

Extracts from the legend of Bresse Comtoise (Jura) reference area soils and drainage map.  
(LAGACHERIE, 1984)

## LÉGENDE DRAINAGE

NUMÉRO DE LA SÉRIE	CLASSE DE DRAINAGE INTERNE	BESOINS EN DRAINAGE	NATURE ET ORIGINE DE L'EXCÈS D'EAU			CONTRAINTES VIS À VIS DU DRAINAGE		MODE DE DRAINAGE
			Forme de l'excès d'eau	Nature et profondeur du plancher imperméable	Autres obstacles à l'écoulement de l'eau	Choix de l'engin de pose	Risque de colmatage	
3	h <sub>3</sub>	Drainage nécessaire	Nappe perchée temporaire. Mouillères temporaires	Argile limoneuse apparaissant entre 20 et 40 cm		Indifférent	Faible à nul	Drainage systématique avec positionnement de drains en fonction de la microtopographie (écartement 20-25 m).
8	h <sub>3</sub>	Drainage nécessaire	Saturation de surface. Imbibition du matériau argileux. Mouillères.			Draineuse-trancheuse	Faible à nul	Drainage systématique 10-12 m ou drainage 30 m d'écartement avec remblai poreux et taupage associé (à expérimenter).
13	h <sub>3</sub> (+)	Drainage nécessaire	Nappe perchée temporaire. Mouillère topographique.	Limon argileux apparaissant à partir de 70 cm.		Draineuse-trancheuse	Risque de colmatage minéral.	Drainage systématique 10-12 m ou 20-25 m avec protection amont.
14	h <sub>3</sub> (+)	Drainage nécessaire	Nappe perchée temporaire. Mouillère topographique.	Limon argilo-sableux à partir de 70 cm.		Draineuse-trancheuse	Risque de colmatage minéral.	Drainage systématique 10-12 m ou 20-25 m avec protection amont.

— concertation périodique entre chargés d'études et utilisateurs, au sein des structures locales existantes (Groupement de Vulgarisation Agricole) ou à créer (Comité technique local de pilotage) ;

— rédaction d'un cahier des charges précis pour le chargé d'étude. Celui-ci sera lié contractuellement, quant aux délais et aux types de conclusions à remettre, avec le maître d'ouvrage local (Association syndicale le plus souvent ;

— concours actif des organismes de développement (Service d'Utilité Agricole et de Développement) pour la conduite des volets agronomiques et la diffusion des résultats ;

— intervention de chargés d'études proches géographiquement du secteur de référence (même département), pour faciliter les actions de valorisation et de suivi des résultats ;

— mise en œuvre d'un appui scientifique et technique aux chargés d'étude (« pilotage ») pour assurer une cohérence minimale entre des travaux dispersés à l'échelon national.

## CONCLUSION

Dan un contexte français de demandes croissantes d'études pédologiques à très grande échelle\*, face à un effectif de « pédologues appliqués » modeste (200 spécialistes environ), couvrant très inégalement le territoire français (CESTRE et al., 1984), la méthode des secteurs de référence tente de concilier rigueur et rapidité. Pour l'acquisition des données édaphiques puis pour leur interprétation en termes de recommandations techniques concrètes, elle propose une démarche d'inventaire cartographique en deux étapes (aire échantillon puis retour à la parcelle) et y associe des approches complémentaires (enquête, expérimentation, voire modélisation). Son objectif est d'apporter in fine aux agriculteurs des éléments assurant à la fois une aide à la décision lors de projets d'aménagement ou de changements de système de culture puis des conseils pour la conduite des terres aménagées.

Les travaux en cours, tendant à relier cette démarche avec les inventaires à petite échelle (1/250 000), devraient encore améliorer sa conduite et son efficacité. Grâce à des esquisses agro-pédologiques régionales, la délimitation des petites régions naturelles sera immédiate et la localisation des secteurs de référence sera facilitée. En retour, l'étude de ces derniers enrichira l'information sur l'organisation et le fonctionnement de la couverture pédologique régionale. Ces projets s'inscrivent notamment dans le cadre du futur programme national « inventaire, gestion et conservation des sols » envisagé par l'INRA et le Ministère de l'Agriculture.

Sur un plan politique, pour faciliter encore le recours aux inventaires détaillés par les agriculteurs, les formules actuelles d'aide au financement des aménagements fonciers (prêts spéciaux, subventions) devraient incorporer les études de sols préalables. Celles-ci devraient alors recouvrir l'ensemble de l'exploitation agricole et associer immédiatement des objectifs technologiques (drainage, irrigation) et agronomiques (fertilisation, travail du sol...).

Reçu pour publication : Novembre 1988  
 Accepté pour publication : Mai 1989

\* Pour le drainage agricole, la proportion des terres drainées ayant fait l'objet d'une étude préalable est passée de 50 % en 1980 à 80 % en 1987 (SNED, 1988).

## BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON J.L., BOUMA J.**, 1973. — Relationships between hydraulic conductivity and morphometric data of an argillic horizon. *Soil Science Society of America proceedings* 37, 408-413.
- BAILLE M., BOURRELY L., LAGACHERIE Ph.**, 1978. — Modélisation de la connaissance du pédologue, application à la reconnaissance d'unités de sols. *Colloque Intelligence Artificielle et Agriculture*. Caen, 20 p.
- BORNAND M., JAMAGNE M.**, 1987. — Cartography of the soils of France. Assessment, Evolution and Prospects. Seminar CEE Séville. DG VI on « Land Evaluation from Mediterranean Regions », 11 p.
- BOTTRAUD J.C., BORNAND M., SERVAT E.**, 1984. — Mesures de résistivité appliquées à la cartographie en pédologie. *Sci. Sol* 4, 295-308.
- BOULAINÉ J.**, 1980. — *Pédologie appliquée* Ed. Masson, 220 p.
- BOULET R., CHAUVEL A., HUMBEL F.X. et LUCAS Y.**, 1982. — Analyse structurale et cartographie en pédologie. *Cah. ORSTOM, Série Pédol.*, 4, 309-351.
- BOUMA J.**, 1983. — Use of soil survey data to select measurements techniques for hydraulic conductivity. *Agricultural Water Management* 6, 177-190.
- BOUMA J.**, 1986. — Using soil survey information to characterize the soil-water state. *Journal of Soil Science*, 37, 1-7.
- BOUMA J., DE LAAT P.J.M., AWATER R.H.C.M., VAN HEESSEN H.C., VAN HOLST A.F. and VAN DE NES Th.J.**, 1980. — Use of soil survey data in a model for simulating regional soil moisture regimes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44 (4), 808-814.
- BOUMA J., DE LAAT P.J.M., VAN HOLT A.F. and VAN DE NES Th.J.**, 1980. — Predicting the effects of changing water-table levels and associated soil moisture regimes for soil survey interpretations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44(4), 797-802.
- BOUYE H.M., CESTE T., LESAFFRE B.**, 1983. — Le pompage d'essai appliqué au dimensionnement des ouvrages de drainage agricole. *Etudes du CEMAGREF*, n° 497-498, Mars-Avril 1983, 49 p.
- BOUZIGUES R., FAVROT J.C.**, 1984. — Analyse morphologique de la porosité des horizons Bg de deux sols lessivés à pseudogley. *CR Colloque AFES. Fonctionnement hydrique et comportement des sols*. Dijon, 41-54.
- BREGT A.K.**, 1985. — Geostatistical techniques and spatial variability of soil physical properties. In : *Physics and Rice*. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines, 85-98.
- BREGT A.K., BOUMA J. and JELLINEK M.**, 1987. — Comparaison of thematic maps derived from a soil map and from kriging of point data. *Geoderma*, 39, 281-291.
- BURINGH P., STEUR G.G.L. and VINK A.P.A.**, 1962. — Some techniques and methods of soil survey in the Netherlands. *Neth J. Agric. Sci.* 10, 157-172.
- CAUCHIE P., CESTE T., FONQUERNIE B.**, 1982. — Caractérisation de la conductivité hydraulique saturée du sol dans une même série pédologique. *Document CEMAGREF*, Antony, 53 p.
- CEMAGREF**, 1984. — L'expérimentation en drainage agricole. *Etudes du CEMAGREF* n° 511, 95 p.
- CESTRE T., DUVAL O., FAVROT J.C.**, 1984. — Liste des organismes, bureaux d'étude et pédologues intervenant en cartographie des sols. *Documents SESCPF-GEPPA* 22 p.
- Commission de Pédologie et de Classification des Sols (CPCS)**, 1967. — Classification des sols. ENSA Grignon.
- COURAULT D., GIRARD M.C.**, 1988. — Analyse des hétérogénéités intraparcellaires des sols par télédétection. *Science du Sol*. Vol. 26/1, 1-12.
- FAVROT J.C., DEVILLERS J.L.**, 1975. — Evaluation des besoins en drainage des terres agricoles. *C.R. Colloque CENECA*, Paris, 1976, 1-5.
- FAVROT J.C.**, 1978. — Conduite et interprétation des études pédologiques appliquées au drainage. *Bull. BRGM*, III, n° 67-89.



- FAVROT J.C., BOUZIGUES R., HERVE J.J., CESTRE T.**, 1981. — Recommandations pour la réalisation des études de sols préalables au drainage dans le cadre des secteurs de référence et des retours à la parcelle. Bull. Inf. CEMAGREF, 283, 39-56.
- 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.**, 1983 — Les phénomènes de transfert d'eau en drainage agricole. B.I. CEMAGREF n° 310, 3-14.
- FAVROT J.C., LESAFFRE B.**, 1984. — Science du Sol et Drainage Agricole. Livre jubilaire du Cinquantenaire AFES Paris. 309-320.
- FAVROT J.C.**, 1985. — Cartographie, caractérisation et interprétation des données pédologique en vue du drainage agricole. Actes du Sémin. Scientif. de Pédol. pour l'Amérique Centrale et les Caraïbes. Sol et Eau, Ed. ORSTOM, 551-577.
- 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., BOUZIGUES R., LONGUEVAL C., CHOSSAT J.C., BOURGEAT F.** (à paraître) : Structure du sol, Drainage et Environnement. Rôle de la structure du sol sur le fonctionnement hydraulique et la qualité des eaux d'un réseau de drainage. Actes 14<sup>e</sup> Congrès Comité Intern. des Irrigat. et du Drainage. Rio de Janeiro 1990.
- FAVROT J.C., LAGACHERIE Ph., BOUZIGUES R., ANDRIEUX P., BARTHES B., VINCENT B.**, 1987. — Étude des sols du Secteur de Référence de la Savane Guyanaise. Carte 1/5 000. Mémoire 432 p. INRA Montpellier, n° 581.
- GASCUEL-ODOUX C.**, 1984. — Applications de la géostatistique à l'étude de la variabilité spatiale des propriétés hydriques du sol. Thèse Doct. Ing. ENSM de Paris, 235 p.
- GAUTHIER F.**, 1987. — Utilisation de la radio-magnéto-tellurique et de la prospection thermique pour la reconnaissance géophysique du proche sous-sol. Application à l'étude et à l'aménagement des terres agricoles engorgées. Thèse Doct. Univ. Paris VI, 180 p.
- GIRARD M.C.**, 1983. — Recherche d'une modélisation en vue d'une représentation de la couverture pédologique. Application à une région des plateaux jurassiques de Bourgogne. Thèse d'Etat. Université Paris VII, 430 p.
- GIRARD M.C., et KING D.**, 1988. — Un algorithme interactif pour la classification des horizons de la couverture pédologique : DIMITRI Science du Sol, Vol. 26/2, 81-102.
- GONZALES-CASTILLAS A.**, 1985. — Variabilité spatiale de la conductivité hydraulique saturée horizontale mesurée au champ. Thèse Ing. Doct. ENSA Rennes, 183 p.
- GUYON G.**, 1971. — Mesure de la conductivité hydraulique d'un sol par la méthode du rabattement de nappe en vue des calculs d'un drainage. Bull. Techn. G.R. 1971, n° 110, 29-49.
- HERVE J.J.**, 1980. — La responsabilité du chargé d'étude. Revue Drainage n° 21, 8-11.
- HERVE J.J.**, 1982. — Bases d'établissement des protocoles expérimentaux pour les essais technologiques et agronomiques de drainage. CPN opération drainage, doc. ronéotypé, 47 p.
- HERVE J.J., URBANO G.**, 1983. — L'opération drainage — secteur de référence ONIC — Ministère de l'Agriculture. Actes du Colloque CENECA.
- HOREMANS P., LESAFFRE B.**, 1984. — Le drainage des sols de Sologne : application de la méthode des secteurs de référence à une région aux sols difficiles. XII<sup>e</sup> Congrès International Irrig. Drainage. Vol. 1(B), 119-150.
- INSEE-SCEES**, 1982. — Régions Agricoles. Situation au 1.1.1980. Carte 1/1 400 000 Minist. Agric.
- LAGACHERIE Ph.**, 1986. — Elaboration de blocs diagrammes à partir de modèles numériques de terrains de l'IGN. BTI, 406, 3-9.

- LAGACHERIE Ph., FAVROT J.C.**, 1987. — Synthèse générale sur les études de secteurs de référence drainage. INRA Montpellier n° 591, 223 p.
- LAGACHERIE Ph.**, 1987. — Carte de France de l'hydromorphie à l'échelle des petites régions naturelles. Carte 1/1 400 000 + notice 40 p. INRA Montpellier.
- LAGACHERIE Ph.**, 1987. — Carte de France de localisation des secteurs de référence. Carte 1/1 400 000. INRA Montpellier.
- LESAFFRE B., ZIMMER D.**, 1987. — Modélisation du comportement hydraulique d'un sol drainé. Débits de pointe et tarissements. Science du Sol. Vol. 25/4, pp. 231-246.
- McBRATNEY A.B. and WEBSTER R.**, 1983. — Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. V. Coregionalization and multiples sampling strategy. J. Soil Sci. 34, 137-162.
- MARSMAN B.A. and DE GRUIJTER J.J.**, 1986. — Quality of Soil Maps : A Comparison of Survey Methods in a Sandy Area. Soil Survey Papers n° 15. Stiboka, Wageningen.
- MEYER M.**, 1984. — Application de la sismique réfraction à la prospection pédologique des sols et des formations superficielles. Thèse Doct. Ing. ENSA Montpellier, 110 p.
- LEGROS J.P.**, 1978. — Recherche et contrôle numérique de la précision en cartographie pédologique. Ann. Agron. 29 (5), 499-519 et (6) 583-601.
- LEGROS J.P.**, 1987. — Utilisation assistée par ordinateur des données de sols. Etat actuel et tendance en France. Meeting CEE « Computerizing of land data for agricultural and environmental planning ». Pise, Italie, 14 p.
- RUSH E.**, 1985. — Application et intérêt de la télédétection pour la cartographie détaillée des sols landais (secteur de référence des Landes). INRA Montpellier n° 582, 59 p.
- SNED** (Syndicat National des Entreprises de Drainage), 1988. — Statistiques Drainage 1987, 36 p.
- Soil Survey Staff**, 1951. — Soil Survey Manual. US Dept. Agric. Handb. 1888, Washington, D.C.
- STEIN A., HOOGERWERF M., BOUMA J.**, 1988. — Use of Soil-Map. Delineations to improve (Co-) Kriging of Point Data on Moisture Deficits. Geoderma 43, 163-177.
- VAN KUILENBURG J., DE GRUIJTER J.J., MARSMAN B.A. and BOUMA J.**, 1982. — Accuracy of spatial interpolation between point data on soils moisture supply capacity, compared with estimates from mapping units. Geoderma, 27, 311-325.
- VIEIRA S.R., NIELSEN D.R. and BIGGAR J.W.**, 1981. — Spatial variability of field measured infiltration rate. Soil Sci Soc. Am. J. 45, 1040-1048.
- VIZIER J.F.**, 1982. — Etude des phénomènes d'hydromorphie dans les sols des régions tropicales à saisons contrastées. Dynamique du fer et différenciation de profils. Thèse Sci., Dijon. Trav. et Doc. ORSTOM n° 165, 294 p. (1983).
- VOLTZ M.**, 1986. — Variabilité spatiale des propriétés physiques du sol en milieu alluvial. Thèse Docteur Ing. ENSA Montpellier, 198 p.
- VAUCLIN M.**, 1983. — Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol. Ed. Colloques de l'INRA n° 15, 9-43.
- WEBSTER R.**, 1985. — Quantitative spatial analysis of soil in the field. In : Advances in Soil Science. Vol. 3, Springer-Verlag, New-York, NY.
- WILDING L.P. et DRESS L.R.**, 1983. — Spatial variability and pedology. Pedogenesis and Soil Taxonomy (Ed. L.P. WILDING, N.E. SCHMECK, G.F. HALL), 83-113. Developments in Soil Science IIA Elsevier.
- 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.