

Comparaison de la synthèse de cartes de sol et de la segmentation d'images satellitaires pour l'élaboration d'une carte des sols au 1 : 250 000

Application à une zone de la Lorraine

M-C. Girard⁽¹⁾, M. Gury⁽²⁾ et L. Florentin⁽³⁾

(1) INA PG, UFR Dynamique des milieux et organisations spatiales. BP1 78850 Grignon

(2) Faculté des Sciences, Laboratoire de Science du Sol, BP 239, 54506

Vandœuvre les Nancy cedex

(3) INP-ENSAIA, Sol et environnement. BP 172 - 54505 Vandœuvre-Les-Nancy

RÉSUMÉ

Dans le cadre de l'élaboration de la couverture complète de la France en carte au 1/250 000, deux approches sont comparées : une méthode dite par synthèse et une méthode dite par segmentation. Un auteur a interprété les images SPOT et les cartes disponibles ; il en a tiré une représentation des pédopaysages par méthode par segmentation, et ce, sans utiliser les cartes pédologiques ; puis la carte a été mise sous SIG. Les autres auteurs ont interprété leurs cartes pédologiques au 1/100 000 pour constituer une carte de pédopaysages au 1/250 000 qui a été mise sous SIG.

La ressemblance globale des deux cartes issues des deux approches est estimée à 88,8 % par la méthode des possibilités. Il en ressort que la méthode par synthèse est la moins onéreuse sur un territoire où l'on dispose déjà des informations pédologiques nécessaires et que, sur un territoire où l'information disponible est insuffisante, la démarche par segmentation est la plus rapide et économiquement la seule acceptable.

Mots clés

Cartographie des sols, paysages, images satellitaires, théorie des possibilités, tableau de contingence.

SUMMARY

COMPARING SOIL MAPS SYNTHESIS AND SATELLITE IMAGERY SEGMENTATION FOR THE ELABORATION OF A 1/250 000 SOIL MAP. Application to a test site in Lorraine

For the elaboration of the complete cover mapping of France in pedolandscape units at 1/250,000, two methods are compared : one is a synthesis of maps surveyed at small scale and the other is segmentation. One of the authors has interpreted some SPOT images and the available maps in order to produce a pedolandscape map (figure 4, table 2) by an up-down process without using the existing pedological maps. The resulting map has been put in a GIS. The other authors interpreted the pedological maps at 1/100,000 in order to produce a pedolandscape map at 1/250,000 which has also been put in a GIS (figure 2, table 1).

Comparison of both maps shows a global likeness estimated at 88 % by the fuzzy sets method (tab 4 and 5). It shows that the synthesis method is the less expensive for mapping a territory where the necessary pedological data are already available, while the segmentation method is the more efficient and economically sound one for mapping territories where there are not enough available data.

Key-words

Soil mapping, pedolandscape, satellite imagery, fuzzy logic, confusion matrix.

RESUMEN

COMPARACIÓN DE LA SÍNTESIS DE MAPAS DE SUELOS Y DE LA SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE PARA LA ELABORACIÓN DE UN MAPA DE SUELOS AL 1/250 000: Aplicación a una zona de Lorena

En el cuadro de la elaboración de la cobertura completa de Francia en mapas al 1/250 000, dos enfoques son comparados: un método por síntesis y un método por segmentación. Un autor interpreto los imágenes SPOT y los mapas disponibles, y hecho una representación de los pedopaisajes por método de segmentación sin usar mapas pedológicos; el mapa se puso bajo SIG. Los otros autores interpretaron sus mapas pedológicos al 1/100 000 para constituir un mapa de pedopaisajes al 1/250 000 que fue también puesto bajo SIG.

La semejanza global de los dos mapas hechos de dos enfoques se estima a 88,8 % por el método de posibilidades. Resulta que el método por síntesis es menos oneroso en un territorio donde existe ya informaciones pedológicas necesarias y que, en un territorio donde la información disponible es insuficiente, el enfoque por segmentación es el más rápido y económicamente aceptable.

Palabras claves

Cartografía de suelos, paisajes, imágenes de satélites, teoría de las posibilidades, tabla de contingencia.

La cartographie des sols au 1 : 250 000 qui offre des informations synthétiques disponibles sous système d'informations géographiques (SIG), est de plus en plus nécessaire à la prise de décisions administratives tant au niveau d'une région que d'un département.

Il existe une couverture complète de la France, de cartes de la végétation (1 : 200 000), topographiques (1 : 250 000), géologiques (1 : 320 000) mais pas de cartes pédologiques à ces échelles-là. Pour la pédologie, le Ministère de l'Agriculture et l'INRA ont mis en place, dès 1992, un programme : Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS) qui associe, dans le cadre d'un SIG, des cartes de secteurs de référence au 1 : 10 000 et des cartes au 1 : 250 000 dénommées « Références pédologiques régionales » (Girard, 1994 - Girard, 1995a - Favrot *et al.*, 1995).

À la suite de la réalisation de la carte pédologique de la France au 1 : 1 000 000 (1967), il a été prévu d'établir des cartes au 1 : 250 000 : un premier essai a été réalisé sur la feuille de Paris par P. HOREMANS en 1969. La première carte régionale pédologique au 1 : 250 000 de la région Lorraine (ENSAIA-SAFE, 1980) faite dans le cadre du programme de la « relance agronomique » et son atlas (Jacquin et Florentin, 1988), ont rappelé l'intérêt de ces documents pour la gestion du territoire.

Dans le cadre du programme européen qui voit le jour, prévoyant une cartographie au 1 : 250 000, et bénéficiant des résultats des différentes expériences acquises au cours du programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (Antoni et Girard, 1996; Burlot, 1995; Bornand *et al.* 1988; Girard *et al.*, 1993; Girard, 1995b; Yongchalermchai, 1993), nous avons comparé, sur un secteur de la Lorraine, deux démarches possibles pour l'établissement de tels documents.

En effet, dans certaines régions il existe diverses cartes à diverses échelles et ne couvrant pas la superficie totale de la région, dans d'autres il existe des cartes au 1 : 100 000 (Lorraine); dans d'autres encore il n'y en a pas. L'objectif est donc de comparer sur un même champ d'investigation la synthèse au 1 : 250 000 effectuée par les auteurs de la carte au 1 : 100 000 et une segmentation effectuée à partir de divers documents cartographiques et des images satellitaires, pour dresser dans les deux cas des cartes de pédopaysages

LES DEUX DÉMARCHES

Disposant actuellement de SIG, il est possible de connaître toutes les informations acquises sur un site, dont sa position géographique, et ce, quelle que soit l'échelle de représentation de la carte pédologique. La banque contenant toute l'information sur les sols peut donc être associée à la carte au 1 : 250 000, celle-ci constituant un réel Référentiel Régional Pédologique (RRP).

Démarche par synthèse

Lorsqu'il existe déjà des données cartographiques, le RRP se construit à partir de données qui, la plupart du temps, sont à des échelles plus grandes, comme le 1 : 100 000, le 1 : 10 000 ou 1 : 25 000. Il est alors nécessaire d'établir des regroupements d'unités pédologiques qui se font en se basant sur des informations pédologiques, et sur des facteurs paysagiques (ou physiographiques). On élabore alors un corpus de lois chorologiques définissant « les liens qui existent entre la caractérisation des unités pédologiques retenues (facteurs intrinsèques) et leur distribution dans le paysage à trois dimensions (facteurs extrinsèques) » (Girard, 1983 - Gaddas, 2001; Carré, 2002). Cette démarche est qualifiée de synthèse.

Démarche par segmentation

Dans certains cas, les données cartographiques n'existent pas, ou existent de manière très dispersée et à des échelles très diverses. Une manière rapide d'arriver à la constitution du RRP consiste à créer un modèle choropédologique se basant sur les facteurs de différenciation de la couverture pédologique interprétés à partir des documents cartographiques disponibles sur le milieu. Ce modèle permet d'interpréter les images satellitaires en caractérisant des pédopaysages : « Ensemble des horizons pédologiques et des éléments paysagiques : végétation, effets des activités humaines, géomorphologie, hydrologie, substrat ou roche-mère, dont l'organisation spatiale permet de définir dans son ensemble une (ou une partie d'une) couverture pédologique » (Girard, 1983; Larousse agricole, 2002). On peut définir des sous-ensembles : les unités de pédopaysage, puis les éléments de pédopaysage.

La notion de paysage est de plus en plus utilisée en France par les pédologues (Bornand *et al.*, 1988; Baize, 1993; Girard, 1993; Gilliot *et al.*, 1995).

À partir des images satellitaires, il est possible de définir la plupart des éléments paysagiques : végétation, effets des activités humaines, géomorphologie, hydrologie, substrat ou roche-mère, en s'aidant, si besoin est, des cartes de végétation (1 : 200 000), des cartes géologiques (1 : 320 000, 1 : 80 000, 1 : 50 000), des cartes topographiques (1 : 250 000, 1 : 100 000, éventuellement 1 : 50 000) qui couvrent l'ensemble du territoire. L'interprétation visuelle (Bertrand, 1994 et Francoual, 1997) ou automatique (Burlot, 1995) des images est faite à partir d'une fiche codée renseignant systématiquement les divers éléments du paysage.

L'intérêt de l'utilisation des images satellitaires est d'obtenir une image instantanée sur un grand champ d'investigation (3600 km²) et donc de pouvoir comparer et interpréter, des plages cartographiques situées à des dizaines de kilomètres les unes des autres. La résolution des images satellitaires : de 10 à 30 mètres, est suffisante pour l'interprétation de pédopaysages au 1 : 250 000 ou au 1 : 100 000, voire au 1 : 50 000 (Gilliot et Girard, 1996). De plus, si l'interprétation est faite directement sous SIG, et si l'on a géoréférencé les images sur un fond topographique, le résultat de l'interprétation est directement utilisable sous SIG.

Choix du secteur d'étude

Le périmètre a été choisi pour la région Lorraine, de manière à couvrir plusieurs régions naturelles de plusieurs départements. Il s'étend de Metz à Neufchâteau du Nord au Sud, et entre Nancy et Commercy d'Est en Ouest, sur 240 000 hectares et correspond à la partie occidentale des coupures IGN 1 : 100 000 Nancy et Metz. Les informations disponibles comprennent notamment un inventaire systématique complet du terrain. C'est sur cette seule partie que les deux démarches, appliquées indépendamment l'une de l'autre, seront comparées (figure 1).

LA DÉMARCHE PAR SYNTHÈSE

Les documents disponibles

Les documents utilisés ici sont : les fonds topographiques IGN, notamment 1 : 250 000, la couverture géologique au 1 : 50 000, les cartes de la végétation au 1 : 200 000.

Les informations pédologiques appartiennent à deux grandes catégories :

1°) Les travaux de recherches fondamentales ou appliquées menés au laboratoire et sur le terrain, publiés sous forme de mémoires de thèses, articles ou ouvrages scientifiques. Leurs apports ont trait à la genèse, aux propriétés, au fonctionnement actuel, à la conservation et à l'amélioration des potentialités des sols.

2°) Les études pédologiques cartographiques effectuées avec différentes finalités, plus intéressantes encore pour cette étude. Leur recensement a été réalisé en Lorraine (ENSAIA, 1979) et rapporté dans le « Répertoire pour la France d'Études pédologiques avec cartographie détaillée des SOLS » (Réfersols, INRA Montpellier 1995).

On trouve (figure 1) :

- des cartes à très grandes échelles (1 : 2 000 à 1 : 10 000) fournissant des informations très précises sur des territoires de superficies réduites et réalisées dans des buts pratiques (drainage, ou mise en valeur agricole ou forestière des sols).
- des cartes à grandes échelles (1 : 10 000 à 1 : 25 000), destinées à recueillir des références sur les caractéristiques, le comportement, les contraintes et la répartition des sols au niveau d'une petite région naturelle : carte pédologique du Plateau de Haye (Gury, 1973), cartes de secteurs agricoles de référence...
- deux feuilles 1 : 100 000 de la Carte Pédologique de France qui se basent sur 1) un inventaire aussi exhaustif que possible des sols existants, 2) des lois chorologiques, 3) des caractéristiques morphologiques, analytiques et génétiques des sols et qui dégagent les aptitudes et facteurs limitants des sols. Les levés cartographiques ont été effectués avec une résolution de 15 à 20 hectares en moyenne. Les contours des unités cartographiques, établis à partir de relevés de terrain et confortés ou affinés par examen de photographies aériennes s'appuient

très souvent, sur des limites géologiques ou géomorphologiques.

- l'esquisse pédologique régionale 1 : 250 000, dressée en 1980 synthétisait les connaissances acquises à l'époque, et mettait en évidence les régions présentant les types de terrains possédant des aptitudes similaires et posant globalement des problèmes d'aménagement identiques.

On dispose donc d'acquis pédologiques importants et les pédologues lorrains possèdent à la fois une grande connaissance du terrain, des paysages, des caractéristiques des sols et de leur distribution dans le paysage en fonction des structures géologiques, des séquences lithostratigraphiques, de la couverture végétale et de l'utilisation des sols.

La carte établie par l'INRA SESCOF (figure 1) ne fait pas apparaître la totalité des cartographies pédologiques réalisées à grandes échelles sur cette partie de territoire, considérant que le 1 : 100 000 est déjà un document de synthèse ayant intégré toutes ces données. Cependant, les secteurs de référence formant un volet du programme IGCS y sont figurés. Il s'agit des secteurs répertoriés Haye Nord, Haye Centre et Plateau liasique, cartographiés au 1 : 10 000 ou 1 : 25 000.

Etablissement de la carte

On pourrait penser que bénéficiant d'informations pédologiques abondantes et notamment d'une couverture cartographique complète à plus ou moins grande échelle, il suffit d'effectuer des regroupements d'unités cartographiques et d'en transcrire les contours sur un fond topographique au 1 : 250 000. Or, il apparaît que de simples regroupements d'unités pédogénétiques, conduisent inévitablement aux unités supérieures des classifications de sols. On aurait pu alors, rassembler tous les types de sols cartographiés sur le territoire en trois ou quatre ensembles illustrant les processus de pédogenèse actifs dans la région (décarbonatation, brunification, lessivage, oxydo-réduction), et correspondant approximativement au niveau taxonomique de la « classe » dans la CPCS, ou des « grands ensembles » du Référentiel Pédologique Français. Les sols carbonatés (REN-DOSOLS, CALCOSOLS, CALCISOLS) et les LUVISOLS et FLUVIOSOLS (Baize et Girard, 1995) auraient couvert 80 % du territoire. Ceci était beaucoup trop réducteur et générateur d'amalgames grossiers ; ainsi, une même unité aurait pu englober les sols de plateaux calcaires, de cuestas et de talus marneux. De plus une telle représentation ne correspond pas aux objectifs du programme IGCS dont une des idées directrices est l'obtention d'une carte des pédopaysages.

La démarche adoptée a donc été la suivante :

- 1 - Identification et définition des unités de pédopaysages.
- 2 - Définition précise du contenu pédologique de chaque unité : établissement d'une légende détaillée de la carte.
- 3 - Elaboration des contours des unités cartographiques sur le fond topographique.
- 4 - Informatisation de l'ensemble des données.

Les unités de pédopaysages ayant des dimensions compatibles avec une représentation cartographique au 1 : 250 000, ont été définies à partir des ensembles géomorphologiques bien reconnus et identifiables sur le terrain et sur le fond topographique. Ce premier découpage a été conforté et complété, en s'appuyant sur les grands ensembles lithologiques et/ou pédologiques déduits des contours géologiques des cartes 1 : 50 000 et des contours pédologiques des cartes 1 : 100 000.

Pour toutes les unités ainsi identifiées, on a recensé à l'aide des différents documents pédologiques, tous les types de sols présents au sein de chacune d'elle. Chaque unité de pédopaysage (UPP) comporte, en général plusieurs unités typologiques de sols (UTS). Pour chacune d'elle, on s'est efforcé d'évaluer sa part respective au sein de l'UPP et sa disposition par rapport aux autres (juxtaposition non ordonnée, association, toposéquences, chaînes de sols). Par ailleurs, à partir des documents disponibles, on a dressé un solum de référence pour chaque UTS. Celui-ci, caractérisé aux plans morphologique et analytique, a été décrit en priorité par des caractères permanents, peu susceptibles de transformations : profondeur, texture, pierrosité, charge en calcaire, fonctionnement hydrique. Chaque UTS est illustrée par un ou plusieurs solums décrits et analysés de la région concernée. L'ensemble de ces opérations a abouti à une proposition de légende comprenant 11 unités de pédopaysages (tableau 1).

La construction des contours des unités de pédopaysages a été effectuée manuellement sur le fond topographique au 1 : 250 000 de l'IGN. Ces contours, résultent d'une transcription des contours pédologiques représentés sur les cartes des sols au 1 : 100 000, avec des simplifications imposées par le changement d'échelle et avec des adaptations nécessaires pour tenir compte des informations orographiques et hydrographiques figurant sur le support 1 : 250 000. Le tracé de ces contours constitue donc une synthèse entre pédologie et géomorphologie. Cet exercice place très souvent le pédologue en situation inconfortable, partagé entre le désir de conserver et de faire figurer un maximum d'informations précises et, d'un autre côté, l'obligation de fournir un document final cohérent, homogène, parfaitement lisible, avec la nécessité de simplifier voire de faire disparaître des informations.

Par la suite, l'ensemble des données graphiques a été mis sous système d'information géographique (Arc Info). Un choix de sites décrits et analysés a été réalisé pour obtenir un effectif total en rapport avec l'objectif de précision affiché au départ (résolution de 1 site décrit et analysé pour 4 000 ha) ; les informations sémantiques ont été mises en forme (DONESOL) et informatisées. De nombreuses données disponibles n'ont pas été introduites dans la banque informatisée ; elles ont néanmoins servi pour renseigner la variabilité du contenu des UPP.

Le Référentiel Régional Pédologique

Le Référentiel Régional Pédologique (RRP) (figure 2) comporte 11 unités de pédopaysage, chacune étant représentée par une couleur.

Dans cette région de plaines et plateaux où le climat est à peu près homogène, les deux facteurs qui gouvernent la pédogenèse et les lois chorologiques sont la lithologie et le relief. Sur la carte, ceci ressort bien par la disposition des taches de couleur qui soulignent les grandes organisations du relief, de l'hydrographie régionale et les grands ensembles lithologiques. A partir de cette carte et des informations introduites dans la banque de données, on peut produire par ailleurs d'autres documents dérivés.

Les résultats finaux obtenus et les quelques tests d'application réalisés ne suscitent pas de questions, *a priori*, quant à la précision. Les contours, basés sur les observations de terrain et des documents pédologiques, géomorphologiques et géologiques à grandes échelles ont une précision satisfaisante. Le contenu des unités cartographiques est renseigné sur le plan pédologique d'une manière tout à fait convenable par de très nombreuses mesures et analyses de laboratoire. Les solums de références sélectionnés à partir d'un grand nombre de sites et de sols analysés, offrent les meilleures garanties de bonne représentativité.

Pourtant, les auteurs peuvent toujours s'interroger sur l'opportunité de tel ou tel regroupement opéré au niveau des types de sols et donc des inévitables pertes d'information. Peut-être aurait-on pu procéder différemment, aller plus loin dans le découpage des unités cartographiques et conserver davantage d'informations, tout en maintenant le document final, à la fois homogène et lisible ?

LA DÉMARCHÉ PAR SEGMENTATION

Lorsqu'on se trouve avec un grand nombre de cartes ou de données de terrain, on en déduit d'entrée de jeu, les lois chorologiques qui existent entre la couverture pédologique, les facteurs de différenciation et les éléments du milieu visibles par télétection. Ensuite on définit les lois qui permettent d'interpréter les images satellitaires.

Pour cette approche on n'a utilisé aucune carte des sols. On a donc élaboré des lois chorologiques associant les paysages aux sols en se basant sur les facteurs de différenciation des sols en utilisant les informations de la bibliographie (Jacquin et Florentin, 1988). En construisant des cartes factorielles, à l'aide du SIG, on peut vérifier si les hypothèses sont cohérentes entre elles et sont spatialement cohérentes avec les lois chorologiques (Francoual, 1997 ; Gaddas, 2001 ; Carré, 2002). Enfin, on effectue des vérifications de terrain. En effet, il existe des éléments de différenciation des sols qui ne peuvent pas être interprétés à partir des images satellitaires ou des photographies aériennes (Yongchalerchai, 1993).

Cette démarche par segmentation pour la réalisation d'une carte de pédopaysage est basée sur les opérations suivantes.

1°) Les pédopaysages construits à partir d'images satellitaires SPOT [KJ : 47-251 (Metz) et 47-252 (Nancy) prises à 10 h 41 min, le 10 décembre 1987, l'élévation solaire étant de 18°06'] permettent d'intégrer les diverses informations du milieu déjà acquises à diverses échelles et d'en faire une synthèse graphique. Cette fonc-

Tableau 1 - Caractéristiques des sols du Référentiel régional Pédologique (secteur expérimental IGCS Lorraine)
Table 1 - Soil characteristics in the Regional Soil Reference Base (IGCS test site in Lorraine)

Unités Cartographiques (UCS)	Unités Typologiques (UTS)	MATERIAUX	TOPOGRAPHIE	CONTRAINTES ET FACTEURS LIMITANTS
1 Sols des grandes vallées d'origine vosgienne (Meurthe, Moselle)	1 - Fluvisols Typiques	Alluvions récentes sablo-limoneuses avec galets	Vallée	Inondation - Sensibilité à la sécheresse
	2 - Fluvisols Brunifiés			
2 Sols des vallées des plateaux calcaires et marno-calcaires	3 - Fluvisols Brunifiés rédoxiques	Alluvions récentes limoneuses et argilo-limoneuses	Vallée	Inondation
	4 - Fluvisols Brunifiés carbonatés ou non à horizon rédoxique de profondeur			
3 Sols des vallées humides des plaines argileuses et mameuses	5 - Fluvisols Brunifiés à horizon réductique de profondeur	Alluvions récentes fines argilo-limoneuses et argileuses	Vallée	Inondation - Excès d'eau
	6 - Brunisols Fluviqques (rédoxiques)			
4 Sols des basses terrasses alluviales	7 - Brunisols luviqques rédoxiques	Alluvions anciennes limono-sableuses avec galets	Basses terrasses en bordure de vallée	Excès d'eau localisés - Battance
	8 - Néoluvissols			
5 Sols des hautes terrasses alluviales	9 - Néoluvissols rédoxiques	Alluvions anciennes limono-sableuses avec galets	Hautes terrasses	Acidité - Battance
	10 - Luvisols rédoxiques			
6 Sols des couvertures limoneuses des plateaux calcaires	11 - Brunisols	Placages limoneux	Subhorizontale	Battance
	12 - Néoluvissols			
7 Sols des couvertures limoneuses des plaines argileuses ou mameuses et des plateaux marno-calcaires	13 - Néoluvissols rédoxiques	Placages limoneux	Plane	Hydromorphie - Battance
	14 - Luvisols rédoxiques			
8 Sols des cuestas (de Meuse et de Moselle)	15 - Pélosols différenciés rédoxiques	Calcaires et éboulis calcaires	Légère pente	Relief - Manque de profondeur - Pierrosité
	16 - Rendosols			
	17 - Rendosols brunifiés			
	18 - Calcossols			
	19 - Calcossols rédoxiques			
	20 - Calcisols rédoxiques			
	21 - Pélosols Brunifiés			
	22 - Rendosols			
	23 - Rendosols brunifiés			
	24 - Calcisols			
	25 - Calcossols			
	26 - Calcossols			
	27 - Calcossols rédoxiques			
	28 - Calcisols rédoxiques			
	29 - Pélosols Brunifiés			
30 - Calcossols rédoxiques				
31 - Calcisols rédoxiques				
32 - Pélosols Brunifiés				
9 Sols des plateaux calcaires (Haye, Côtes de Meuse)	22 - Rendosols	Calcaires	Plateau et vallons secs	Manque de profondeur - Pierrosité
	23 - Rendosols brunifiés			
10 Sols des plateaux marno-calcaires	24 - Calcisols	Marno-calcaires	Plateau faiblement vallonné	Excès d'eau localisés - pierrosité
	25 - Calcossols			
11 Sols des plaines et dépressions argileuses ou mameuses	26 - Calcossols	Mameuses et argiles	valloné	Excès d'eau
	27 - Calcossols rédoxiques			
	28 - Calcisols rédoxiques	Mameuses et argiles	valloné	Excès d'eau
	29 - Pélosols Brunifiés			
	30 - Calcossols rédoxiques	Mameuses et argiles	Faiblement vallonné	Excès d'eau - Texture
	31 - Calcisols rédoxiques			
	32 - Pélosols Brunifiés	Mameuses et argiles	Faiblement vallonné	Excès d'eau - Texture

tion d'unification des documents (Girard M-C et Girard C., 1999) peut être appliquée sur les images parce qu'elles présentent un vaste champ spatial et que l'on peut intégrer (avec des zooms) des niveaux de précision différents, lorsqu'on effectue l'interprétation directement sous système d'informations géographiques. Ainsi, les informations correspondant à diverses échelles peuvent être prises en compte.

2°) La carte de pédopaysages nécessite de bien comprendre le milieu par l'intermédiaire de ses divers facteurs, de les croiser, et de définir, par une analyse multicritère, les lois chorologiques qui permettent de comprendre l'organisation des sols dans l'espace.

3°) Lorsqu'il n'existe pas de carte de sols sur l'ensemble du territoire étudié, l'esquisse permet de stratifier le milieu pédologique afin d'établir un plan d'échantillonnage, de prévoir des itinéraires de découverte et des transects d'observation. Ces études de terrain ont pour objet de caractériser les sols qui ont été définis par interprétation à partir de l'analyse des pédopaysages, et donc de vérifier les lois chorologiques qui ont été avancées. Ces dernières pourront donc être confirmées ou infirmées. Dans ce dernier cas, il faut alors en construire d'autres. L'étude de terrain doit aussi permettre de vérifier les questions qui sont posées lors de l'élaboration de la légende de la carte des pédopaysages.

4°) Une fois l'esquisse réalisée, on propose une légende qui doit être évidemment confortée et renseignée par des observations de terrain, et des analyses de terre.

Méthode d'interprétation

Pour cette étude, on a utilisé : l'occupation des sols, la morphologie, interprétées à partir de l'image satellitale, et la lithologie, interprétée à partir de la carte géologique.

Les images satellitales : l'occupation du sol et la morphologie

Les images satellitales ont été choisies en saison hivernale car les sols, nus, laissent voir la couleur de l'horizon superficiel et donnent une très bonne information quant aux éléments de pédopaysage. On discrimine facilement les sols argileux, des sols marneux et des sols calcaires très caillouteux, et on distingue bien les éléments grossiers en surface des sols.

De l'élévation solaire, particulièrement basse, il résulte que les faibles dénivellations entre les deux côtés d'un talweg apparaissent nettement, l'un étant éclairé et l'autre pas. On a pu ainsi délimiter tout un ensemble de talwegs dans la région de la Woëvre.

La forêt ayant perdu ses feuilles, on distingue au mieux les différents talwegs qui la parcourent et impriment leur marque sur la morphologie : on peut ainsi apprécier l'impact du réseau hydrographique sur les roches et formations superficielles, et avoir une bonne idée de leur transformation en matériau pédologique. On peut en déduire l'épaisseur de la couverture pédologique en se basant sur la règle chorologique (dite érosive) selon laquelle « sur un même matériau lithologique, plus la pente

est forte, plus l'épaisseur est faible (Girard C.M. et Girard M-C., 1975).

On distingue aussi facilement les prairies permanentes et les zones très humides, voire tourbeuses, ce qui permet d'interpréter les différences de régime hydrique des sols.

La caractérisation de chaque plage cartographique est faite le plus simplement possible. L'occupation du sol est décrite par les catégories suivantes : forêts, prairies permanentes, cultures, friches, vergers.

La géomorphologie et l'hydrographie, pour des cartes pédologiques au 1 : 250 000 dans les régions tempérées, sont les principaux facteurs de différenciation des pédopaysages. Or la morphologie s'interprète aisément sur les images satellitales où l'on perçoit l'intégralité des formes géomorphologiques, ce qui n'est pas le cas sur photographie aérienne, ou sur le terrain. Les critères retenus sont les suivants :

- hydrographie : lac, talweg, rivière secondaire, vallée principale, basse terrasse,
- formes du relief : plaine, pente (nulle, faible, moyenne, forte), morphologie ondulée, paysage faiblement vallonné, plateau, corniche, mont-sommet.

La lithologie

L'interprétation lithologique de la carte géologique permet assez souvent de déduire des informations sur la façon dont les roches se décomposent. On peut interpréter ainsi divers paramètres des sols tels que l'acidité, la teneur en éléments carbonatés ou la texture probable du matériau dans lequel le sol s'est formé (Perrin, 1979).

Dans la zone étudiée, la lithologie n'est pas très simple à interpréter car on trouve des alternances de marnes, argiles, calcaires, etc. au sein d'un même étage avec des épaisseurs qui peuvent se mesurer en décimètres ou en dizaines de mètres. Il en résulte une grande variabilité spatiale au niveau de l'unité de paysage. Dans le cadre de cette analyse régionale au 1 : 250 000, on s'est limité aux unités de paysages sans aller jusqu'à l'analyse de toutes les diversités visibles sur l'image à l'échelon de la parcelle. Ainsi donc la diversité pédologique à l'intérieur d'une unité de paysage pourra dans certains cas être supérieure à la diversité pédologique entre unités de paysage.

On a retenu les ensembles lithologiques suivants :

- Formations superficielles : alluvions récentes ou anciennes, colluvions et éboulis, sables et graviers, grèzes litées, limons des plateaux
- Matériaux sédimentaires carbonatés : marne argileuse, marne, marne calcaire, calcaire marneux dur, calcaire à gryphée, calcaire oolithique, calcaire sublithographique, calcaire corallien, calcaire gréseux.
- Matériaux sédimentaires non carbonatés : argile, schistes, grès.

Les lois chorologiques

Les lois chorologiques utilisées sont basées sur la morphologie, sur la lithologie et l'occupation du sol. Dans la zone étudiée, la couverture pédologique semble très liée à la lithologie représentée très

largement par des calcaires et marnes, tandis que les formations superficielles sont relativement peu étendues. Les contraintes pédologiques essentielles sont la faible épaisseur de la couverture pédologique et les excès d'eau. Il a nécessairement fallu que l'homme adapte l'utilisation qu'il fait des sols à ces contraintes. En conséquence l'occupation du sol, bien visible sur image satellitale, a été aussi utilisée. Quelques relations chorologiques ont ainsi été définies pour la région étudiée en se référant à la monographie sur les sols lorrains (Jacquin et Florentin, 1988).

Si le calcaire est dur, sa décomposition se fait lentement. Il peut rester des argiles de décarbonatation (RENDISOLS). Mais si l'érosion est forte il ne reste que très peu de matériaux, on peut alors avoir des sols très peu épais (moins de 10 cm) (LITHOSOLS). Si le calcaire est oolithique, plus tendre, on obtient des RENDOSOLS ou des CALCOSOLS selon le bilan décomposition/altération du calcaire et érosion. Enfin, si le calcaire est marneux, ou si on a de la marne, alors on passe aux CALCOSOLS ou aux CALCISOLS car la quantité d'argiles restant après la décarbonatation est plus grande (Calvet et Girard, 1989).

Avec des argiles et schistes on passe aux BRUNISOLS argileux, parfois même aux PELOSOLS plus ou moins épais et qui peuvent être saturés. Sur argiles oxfordiennes et dans la Woëvre, on peut rencontrer des NEOLUVISOLS rédoxiques et des REDOXISOLS argileux.

Les limons, recouverts par des forêts ou des cultures, donnent des NEOLUVISOLS rédoxiques. Les images de décembre ne permettent pas d'interpréter sous forêt les zones limoneuses. En effet, on ne peut guère les identifier que par une variation de la nature des essences, ce qui n'est guère évident si l'exploitation forestière a fortement modifié le milieu, ou bien par la vigueur des essences, ce qui peut éventuellement s'identifier sur des images de début d'été, ou sur des photographies aériennes.

Les talwegs sont très nombreux entre Woëvre et Moselle. On distingue des talwegs argileux, hydromorphes (U41) qui constituent l'écoulement des étangs de la Woëvre. Ils se prolongent par des talwegs à fond plat, qui sont davantage sains (U40) en s'enfonçant dans les calcaires bajociens; ils font de multiples méandres. Des talwegs, en V, implantés dans le Bajocien, le plus souvent sous forêt (U37) viennent les rejoindre.

La carte des pédopaysages

La carte des pédopaysages de la zone commune comporte 39 unités de pédopaysage (Gilliot et Girard, 1997). Chaque unité est décrite par 15 variables: la REFERENCE du sol avec des qualificatifs pour définir les types de sols (Baize et Girard, 1995), la morphologie, l'occupation du sol, les pentes, l'étage géologique, la lithologie. Il a été prévu de pouvoir décrire deux types de sol, deux types de lithologie, de morphologie, etc. afin de mieux caractériser des unités qui, le plus souvent, sont complexes. Des commentaires ont été apportés mais ils ne sont pas utilisables pour faire des sélections (sous SIG) pour la cartographie. Ils apportent des pré-

sions éventuelles sur les variables précédentes et indiquent les compléments d'informations qu'il faudrait acquérir pour renseigner d'une meilleure façon les rubriques caractérisant les unités cartographiques. Toutes ces informations sémantiques se trouvent dans une banque de données et toutes les données graphiques ont été mises sous système d'informations géographiques (Map-info). Sur cette carte (figure 3), les 39 pédopaysages, qu'on peut distinguer sans problème sur un écran d'ordinateur, comportent le plus souvent deux REFERENCES, qui peuvent avoir des superficies assez proches au sein d'une même unité. On ne peut donc pas toujours parler de type de sol nettement dominant pour une unité de sols sur une carte au 1 : 250 000 (tableau 2).

L'effet visuel d'une carte tient évidemment beaucoup à la superficie des zones colorées. Sur la zone étudiée, l'ensemble des sols peu épais et carbonatés ou saturés, étant largement dominant, on a pu le subdiviser en quatre (jaune et vert, clair ou très clair). On distingue très bien l'ensemble rédoxique dans la Woëvre (violet) qui est très spécifique. Un certain nombre de plages de BRUNISOLS, situées sur l'Oxfordien, présentent aussi le caractère rédoxique (vert clair); il en est de même pour les CALCISOLS (jaune) voisins de la Woëvre. Les sols profonds plus ou moins dégradés (vert) se situent sur la rive droite de la Moselle, ainsi que dispersés, ça et là vers le sud de Nancy, à l'ouest de Mirecourt. Au sud de la zone apparaît un ensemble de sols argileux plus ou moins saturés (orange). L'ensemble des ces unités de sols d'une allure assez compacte, est traversé par les COLLUVIOSOLS (marron) et FLUVIOSOLS (bleu) qui donnent l'armature de la région en exprimant les passages de flux les plus importants (d'eau mais aussi de tous les éléments minéraux ou organiques qui sont transférés d'une partie de la couverture pédologique à une autre).

Cartes factorielles

Une des meilleures manières de valider les cartes de pédopaysage, est de construire des cartes factorielles à partir de la carte de base. On a pu ainsi dresser en utilisant le SIG, une carte morphologique, une carte de l'occupation des sols, une carte des substrats, et une carte des ambiances pédogénétiques (Gilliot et Girard, 1997).

On dispose pour presque toutes les unités de sol du caractère rédoxique et de la carbonatation qui ont été interprétées par lois chorologiques et pédogénétiques. A partir de ces deux caractères on a dressé une carte de l'« ambiance physico-chimiques » des sols (figure 4) qui tient compte des deux principaux processus de pédogénèse: la carbonatation et l'hydromorphie. La légende proposée est construite avec les deux critères suivants auxquels sont associées des couleurs (tableau 3):

- Critère rédoxique (codé en bleu), avec les modalités suivantes: oui/peut-être/non
- Critère carbonaté (non carbonaté codé en rouge, carbonaté en jaune), avec les modalités suivantes: oui/en surface/non.

Tableau 2 - Légende analytique de la carte des pédopaysages interprétée à partir des images satellitales**Table 2** - Analytical legend of the pedolandscape map as interpreted from SPOT satellite imagery

	REFERENCE RP 1995	morpho	occupation	pentés	lithologies	EG	ALS	Redox	Ca
6	CALCOSOL	versant	cultures	moyenne	calcaire oolithique ou mameux	1			1
7	FLUVIOSOL	vallée	prairies	nulle	argile, sable	0		1	
8	BRUNISOL, COLLUVIOSOL	plaine	prairies	faible, nulle	marne, colluvions, grouine	0	A	1	?
10	RENDISOL, RENDISOL	sommet	forêt, cultures	nulle	calcaire dur corallien	1		0	
11	RENDOSOLS	sommet	forêt	nulle	calcaire oolithique	1		0	1
12	COLLUVIOSOLS	talweg petit	forêt, cultures	moyenne, nulle	calcaire oolithique	1		0	1
13	LITHOSOL, RENDOSOLS	corniche	friches, cultures	forte	calcaire blanc	1		0	1
14	COLLUVIOSOL, BRUNISOL	talweg	prairies, cultures	faible	calcaire oolithique	1		0	1
16	BRUNISOL, COLLUVIOSOL	versant	cultures	faible	sable, calcaire	1			1
17	BRUNISOL, CALCOSOL	versant	friches, vergers	moyenne	marne, colluvions, grouine	1	LA	0	1
19	BRUNISOL OLIGO-SATURE	vallée	cultures	nulle	sable, graviers		S	?	0
20	RENDOSOL, RENDISOL	sommet	forêt	nulle, faible	calcaire dur	1		0	1
21	RENDOSOL, LITHOSOL	corniche	cultures, forêts	forte	calcaire dur, minéral de fer	1	A	0	1
22	BRUNISOL SATURE, COLLUVIOSOL	versant	prairies	moyenne	marne	?	A	?	1
24	NEOLUVISOLS	plaine	forêt	nulle, faible	sable, limon des plateaux	0	LA	?	0
25	RENDOSOLS	sommet	cultures	nulle	calcaire dur	1		0	1
26	PELOSOL, BRUNISOL	plaine	prairies	nulle, faible	marne argileuse	0	A	1	0
28	CALCOSOL, CALCISOL	plaine	cultures, forêts	nulle	calcaire à gryphée	1		?	1
32	FLUVIOSOL, REDOXISOL	vallée	prairies, cultures	nulle	argiles	0	A	1	1
33	CALCOSOL, RENDISOL	plaine	cultures, prairies	nulle, faible	calcaire, marne	0			1
35	LUVISOLS DEGRADES	plaine	cultures, prairies	nulle	sable, graviers	1	S	?	0
36	BRUNISOLS	sommet	cultures	nulle	limons des plateaux, calcaire dur	0	LA	0	0
37	COLLUVIOSOLS	talweg	forêt	forte, faible	calcaire dur	1	LA	0	1
38	COLLUVIOSOL, CALCOSOL	versant	cultures, vergers	moyenne	marne	1	A		1
39	FLUVIOSOLS	vallée	ville, prairies	nulle	sable	1	S	1	0
40	COLLUVIOSOLS	talweg	prairies	forte, faible	calcaire dur	1	LA		1
41	COLLUVIOSOLS	talweg	prairies, cultures	faible, nulle	marne calcaire	1	A	1	1
42	CALCOSOLS	versant	cultures	faible, moyenne	calcaire mameux, oolithe	1	A	1	
43	CALCISOL, CALCOSOL	plaine	prairies, cultures	faible, nulle	marne	0	A	1	1
44	REDOXISOL, CALCOSOL	plaine	prairies, forêts	nulle	argile	0	A	1	1
45	RENDOSOLS	versant	cultures	forte	grouine	1		0	1
46	LUVISOLS	plaine	forêt	nulle	grès, limons	0	LS	1	0
47	NEOLUVISOL, BRUNISOL	versant	prairies, cultures	faible	grès		AL	1	
48	BRUNISOLS	vallée	cultures	nulle	sable, argiles	0	AL	?	
49	COLLUVIOSOLS	talweg	prairies, cultures	nulle	grès	1	L	1	1
50	COLLUVIOSOLS	talweg	prairies	nulle	marne	0	A	1	1
51	FLUVIOSOLS	vallée	prairies, cultures	nulle	argile		A	1	
53	EAU LIBRE	eau libre	eau	nulle					
54	ANTHROPOSOLS		ville						

Variables

EG: éléments grossiers

Ca: Carbonatation

ALS: texture

Redox: caractère rédoxique

Modalités

1: présence

0: absence

?: peut exister

blanc: non interprétable

Pour les autres variables, les modalités sont inscrites en clair.

Tableau 3 - Mode de codage des couleurs pour la carte des « ambiances physico-chimiques »**Table 3** - Colour coding scheme for the physico-chemical characteristics

Ambiance rédoxique	Ambiance carbonatée	Couleur
Oui	Non	Magenta sombre
Peut-être	Non	Magenta clair
Oui	Oui ou en surface	Vert
Peut-être	Oui	Vert d'eau
Oui	Inconnu	Bleu
Peut-être	Inconnu	Bleu clair
Non	Non	Rouge
Inconnu	Non	Rose
Non	Oui	Jaune vif
Inconnu	Oui	Jaune très clair
Non	Inconnu	Orange clair
Inconnu	Inconnu	Blanc

Lorsqu'on ne dispose pas d'information, on a mis inconnu et le code entraîne des couleurs plus claires; quand on ne dispose d'aucune information, on a du blanc.

Sur la carte présentée ici, l'ensemble cognat des sols « réductiques-rédoxiques » est dans les teintes composées de bleu, en allant du magenta au vert. L'ensemble cognat des sols « carbonatés-saturés » va du jaune au vert. Enfin l'ensemble cognat des sols « non carbonatés » va du rouge et rose jusqu'au magenta.

COMPARAISON DES DEUX MÉTHODES

En premier lieu, les légendes des deux approches sont différentes. La carte par synthèse (RRP), partant de cartes pédologiques, présente une légende dont le premier critère de hiérarchie est exprimé en termes d'unités de paysage puisque c'était l'objet des regroupements. Celle établie par segmentation (SPOT) se basant sur des pédopaysages met en œuvre des règles chorologiques avec pour but de définir le plus possible des références de sol. Dans les deux cas, il s'agit évidemment d'unités complexes de sols. En conséquence il est difficile de comparer point à point les deux cartes.

En second lieu, dans la démarche par synthèse, on a voulu faire une synthèse des nombreuses données dont on disposait, et on a défini 12 unités cartographiques, alors que dans la démarche par segmentation on a voulu au contraire aller le plus possible dans le détail afin de faciliter les regroupements qui pourraient se faire après l'étude de terrain, et on a défini 39 unités cartographiques.

La comparaison des deux cartes montre une grande différence dans le nombre et la forme des limites des plages cartographiques. Ces dernières sont beaucoup plus nombreuses et digitées dans l'interprétation satellitale (SPOT) que dans la carte de synthèse (RRP).

En conséquence il n'est pas raisonnable de comparer ces deux cartes en les croisant directement sous SIG, car le niveau d'appréhension graphique et de synthèse n'est pas le même.

Il est cependant possible de faire une étude comparative générale. On constate que les grands traits des pédopaysages sont semblables dans les deux approches: on distingue bien les diverses auréoles du bassin parisien et les cuestas qui sont les causes des affleurements de calcaires divers ou de marnes. Les plateaux ressortent bien, en lien avec les talwegs et les nombreux cours d'eau. Comme c'est le cas classique en interprétation visuelle (Girard M-C. et Girard C.M., 1999), les talwegs sont dessinés très finement sur l'interprétation visuelle des images car ils constituent le « squelette » des pédopaysages dans cette région. Il y a 6 unités de talweg sur SPOT contre une seule sur RRP. En conséquence, les unités de talwegs de SPOT seront rattachées aux unités les jouxtant dans RRP.

On remarque cependant un manque de correspondance entre les unités 7 (NEOLUVISOL, LUVISOLS, PELOSOL rédoxiques) et 11 (CALCOSOL et CALCISOL rédoxiques et PELOSOL brunifié) de RRP et les unités 43 (CALCISOL, CALCOSOL rédoxiques) et 44 (REDOXISOL, CALCOSOL argileux) de SPOT sur les grands ensembles des plaines marseuses et argileuses; l'existence de couvertures limoneuses explique en partie les différences de regroupement car ces dernières ne sont pas faciles à détecter sous prairies et sous forêt sur l'image étudiée.

Comparaison spatiale

Pour comparer ces deux cartes d'un point de vue spatial, on a donc utilisé un échantillonnage de points à une résolution de 2,5 km x 2,5 km, (soit sur la carte 1 cm²). On dispose ainsi de 404 points

(p) de comparaison entre les unités du RRP (L) et les unités SPOT (S); le tableau croisé indique à chaque intersection (L, S) le nombre de points communs P aux deux unités de chacune des cartes. On analyse ce tableau pour déterminer les unités SPOT (US) qui correspondent aux unités RRP (UL). Sur les 429 (11 x 39) croisements possibles on n'en trouve que 83, ce qui prouve qu'on est loin d'une distribution au hasard pour laquelle on trouverait tous les cas possibles.

On adopte la méthode suivante pour séparer le bruit du signal et prendre en compte le caractère complexe des unités cartographiques comparées. On estime qu'une unité SPOT (par exemple US20) correspond à une unité RRP (par exemple UL9) lorsque l'effectif des points communs ($pSL = 57$ dans l'exemple) est supérieur à 60 % ($57/61$) des points de cette unité SPOT (US20 comporte 61 points (=TS) dans l'exemple); elle sera dite unité dominante. Ainsi l'unité Lorraine UL9 est dominante dans l'unité Spot US42 puisqu'il y a 24 points sur 36 qui sont communs à ces deux unités. Si l'effectif pSL précédent est compris entre 30 et 60 % (par exemple 14/27), l'unité SPOT (par exemple US43 par rapport à UL11) sera dite secondaire. Si les effectifs sont inférieurs à 30 %, ils ne sont pas pris en compte (dans le *tableau 4*, ils seront qualifiés de « autres »). Une même unité SPOT (par exemple US11) peut donc être dominante (UL9) et secondaire pour une autre unité (UL8) dans le cas de 2/3 pour 1/3. Si l'unité SPOT (par exemple US26) se répartit à peu près moitié moitié, alors elle est qualifiée de secondaire pour les deux unités (UL 8 et UL 11). Après caractérisation des unités selon cette méthode, il reste 10 unités RRP et 28 unités SPOT (avec 61 croisements) correspondant à 378 pixels. On peut donc estimer le bruit à $(404-378) / 404 = 6,4$ % (*tableau 4*). Donc :

- si $pSL/TS > 60$ %
Alors, S est dominante (D) dans l'unité UL (lorraine)
- si $30 \% < pSL/TS < 60$ %
Alors, S est secondaire (S) dans l'unité UL (lorraine)
- si $pSL/TS < 30$ %
Alors, S n'est pas pris en compte dans UL (lorraine)

On établit alors les liaisons entre les unités RRP et les unités SPOT. Si on n'accepte que les dominantes pour la validation, alors les unités SPOT sont validées par les unités RRP dans $235/378 = 62,2$ % des cas. Si on accepte les dominantes et les secondaires, la validation est alors de $316/378$ soit 83,6 % des cas.

Comparaison pédologique

Pour évaluer pédologiquement les concordances des deux approches, on a affecté, un coefficient de possibilité (Fabiani P.J., 1994; Dubois D. et Prade H., 1988; Gopal S. et Woodcock C.E., 1992; Girard C.M.

Tableau 4 - Croisement des cartes obtenues par les deux méthodes synthèse (LOR) et segmentation (SPOT)

Table 4 - Confusion matrix for the maps resulting from both methods: synthesis (LOR) and segmentation (SPOT)

LOR	1	2	3	5	6	7	9	8	10	11	D	S	A	T	
SPOT															
39	15											15			15
32		3										3			3
40		7					2		1			7	3		10
41			3									3			3
51			3									3			3
35				7	1	1					2	7	4		11
36					2				1			2	1		3
24						3						3			3
46						2						2			2
47						7						7			7
49						3						3			3
44							10				12		22		22
43							5	6	1	1	14		14	13	27
33				1				15			16		31	1	32
20	1			1	2			57				57	4		61
37								18	7		1	18	8		26
42					2	1		24		5	4	24	12		36
11								10	5			10	5		15
10									3			3			3
12							1	4				4	1		5
14									2			2			2
16									2			2			2
38									24	1		24	1		25
45									1			1			1
26									4	1	5		9	1	10
28						3	1			26	7	26	11		37
	7											1			1
8							1	1				8	8	2	10
D	1	5	10	6	7	2	15	109	36	26	9	235			
S				1		0	15	9		47			81		
A		1		2	1	5	10	11	10	8	15			62	
TOTAL	16	10	6	9	7	35	135	55	34	71					378

et al., 1997) plus ou moins grand pour la concordance entre les unités cartographiques SPOT et RRP. On admet qu'une unité cartographique RRP valide une unité cartographique SPOT si le type de sol défini dans cette dernière est l'une des unités typologiques existant dans l'unité car-

Tableau 5 - Valeurs des possibilités pour chaque couple de type de sol comparé

Table 5 - Probability value for each couple of soil type

Type de sol		Possibilité	
SPOT	RRP	1	
FLUVIOSOL	FLUVIOSOL		
RENDOSOL	RENDOSOL		
CALCOSOL	CALCOSOL		
CALCISOL	CALCISOL		
BRUNISOL	BRUNISOL		
NEOLUVISOL	NEOLUVISOL		
PELOSOL	PELOSOL		
FLUVIOSOL	COLLUVIOSOL		0,8
FLUVIOSOL	CALCOSOL rédoxique		
RENDISOL	RENDOSOL brunifié		
CALCOSOL	BRUNISOL		
CALCOSOL	CALCOSOL rédoxique		
CALCISOL	CALCISOL rédoxique		
COLLUVIOSOL	CALCOSOL		
BRUNISOL	PELOSOL brunifié		
BRUNISOL	RENDOSOL brunifié		
REDOXISOL	CALCISOL REDOXIQUE	0,6	
REDOXISOL	LUVISOL REDOXIQUE		
NEOLUVISOL	LUVISOL		
LUVISOL DEGRADE	LUVISOL		
RENDOSOL	BRUNISOL	0,4	
COLLUVIOSOL	LUVISOL REDOXIQUE		
LUVISOL DEGRADE	LUVISOL REDOXIQUE		
CALCISOL	NEOLUVISOL REDOXIQUE	0,4	
LUVISOL DEGRADE	NEOLUVISOL		

Les couples dont la possibilité est nulle n'ont pas été cités.

tographique RRP ; on affecte alors un coefficient de possibilité de 1. Si le nom du sol de l'unité SPOT correspond en partie à celui d'une unité typologique de RRP, on affecte la possibilité 0,8 par exemple : CALCOSOLS et CALSOSOLS rédoxiques. Si les noms sont plus éloignés on met 0,6 par exemple : LUVISOL DEGRADE et LUVISOL rédoxique, etc. (tableau 5). Ces possibilités expriment une paren-

té plus ou moins forte entre les types de sol que l'on compare. Cela exprime la possibilité qu'un même sol soit interprété d'une manière ou d'une autre, ceci étant dû au modèle utilisé (terrain, chorologie) pour délimiter les unités cartographiques.

En affectant ces valeurs, la validation est alors de 88,8 % ce qui est satisfaisant.

Éléments de choix entre les deux méthodes

Pour l'exemple traité, en terme de coût et de temps, la comparaison entre les deux démarches dépend de ce que l'on intègre dans les estimations.

- Si l'on envisage seulement la construction de la carte des pédopaysages 1 : 250 000 et de sa légende, les temps et les coûts doivent être à peu près équivalents entre les deux méthodes (une quinzaine de jours, ici).

- Si l'on veut répondre à l'ensemble d'un contrat IGCS (élaboration de la carte et de sa légende, fiches DONESOLS renseignées et informatisation de l'ensemble des données), il faudra alors compter approximativement l'équivalent de trois mois de travail.

La démarche par segmentation nécessitant aussi des observations de terrain, échantillonnages et analyses, l'avantage serait plutôt à la démarche par synthèse qui fournit toutes ces données dès le départ.

- Si l'on considère un coût total, englobant celui des documents préexistants (qui résultent d'investissements antérieurs), l'avantage est cette fois sans aucun doute et de très loin à la méthode par segmentation. En effet les coûts de collecte d'informations et d'élaboration des cartes à grandes échelles et au 1 : 100 000 sont incomparablement supérieurs à tout ce qui vient d'être évoqué.

Par conséquent, à partir de l'analyse faite sur la Lorraine il ressort que :

- sur un territoire où on dispose déjà des informations nécessaires à la mise en œuvre d'une démarche par synthèse, celle-ci est la moins onéreuse ;

- sur un territoire où l'information disponible est insuffisante, la démarche par segmentation est la moins onéreuse.

CONCLUSIONS

Pour l'élaboration d'une carte des pédopaysages à l'échelle du 1 : 250 000 avec apports de données pédologiques descriptives et analytiques pour la constitution d'une banque de données, deux méthodes peuvent être mises en œuvre, l'une par synthèse, l'autre par segmentation.

Lorsqu'on dispose de données pédologiques, notamment cartographiques, de bonne qualité et en quantité suffisante, on peut utiliser indifféremment les deux démarches. Néanmoins la méthode par synthèse sera préférable dans la mesure où elle repose sur le maximum de données de terrain et de laboratoire déjà disponibles.

Figure 1 - Situation de la zone d'étude

Figure 1 - Studied area location

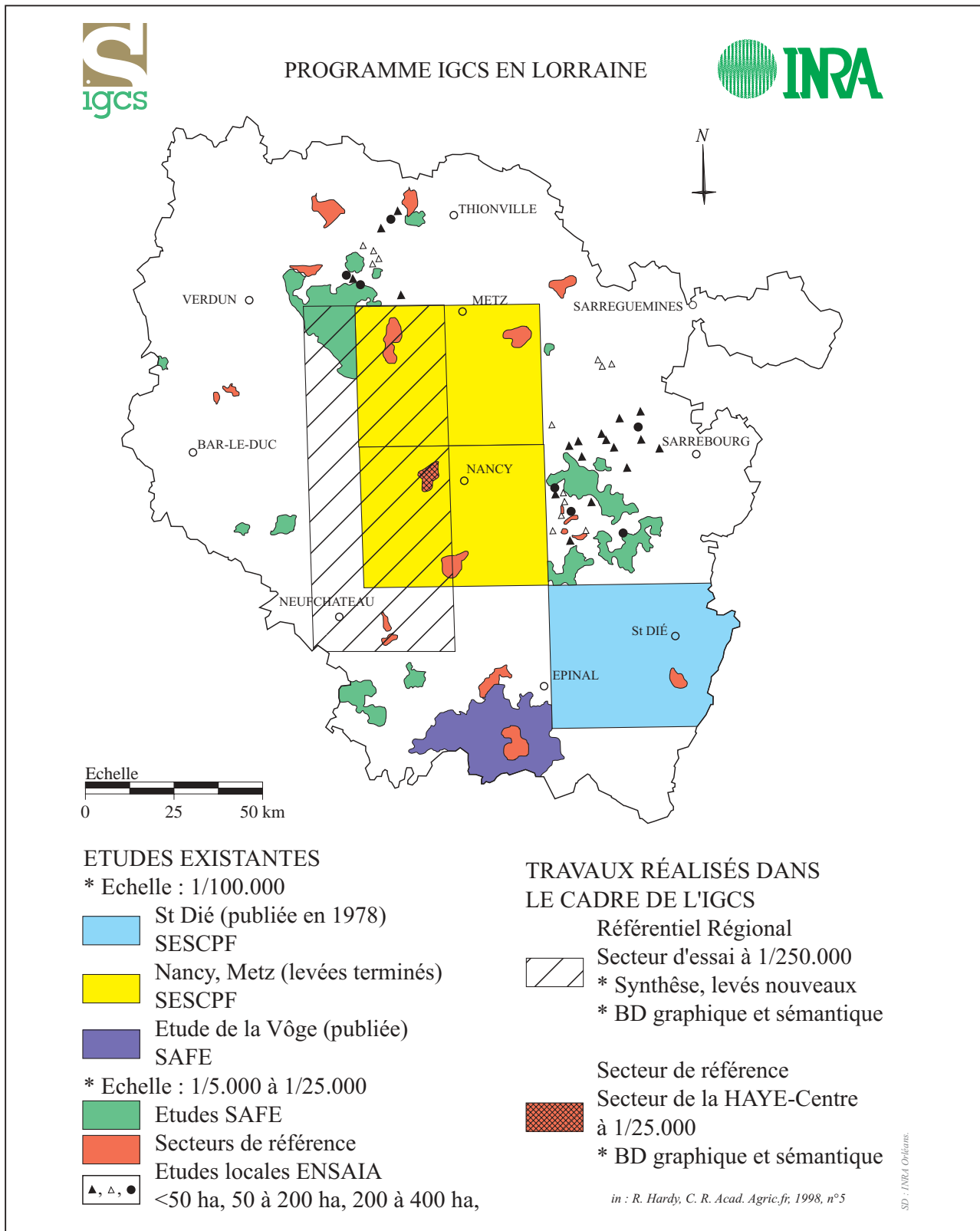


Figure 2 - Le Référentiel Régional Pédologique (RRP) de la zone étudiée
Figure 2 - The Regional Soil Reference Base (RRP) in the test area

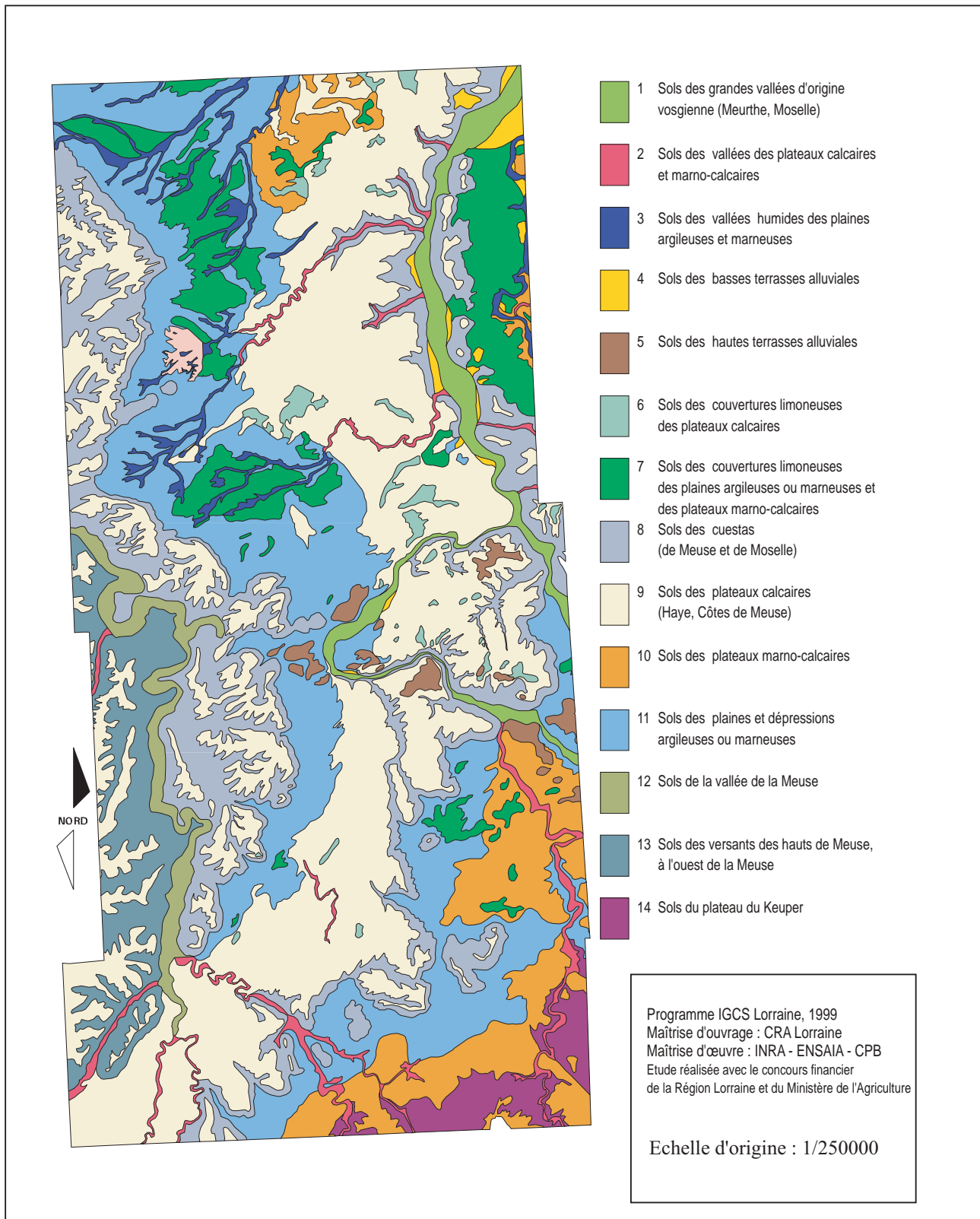


Figure 3 - Carte des pédopaysages

Figure 3 - Pedolandscape map

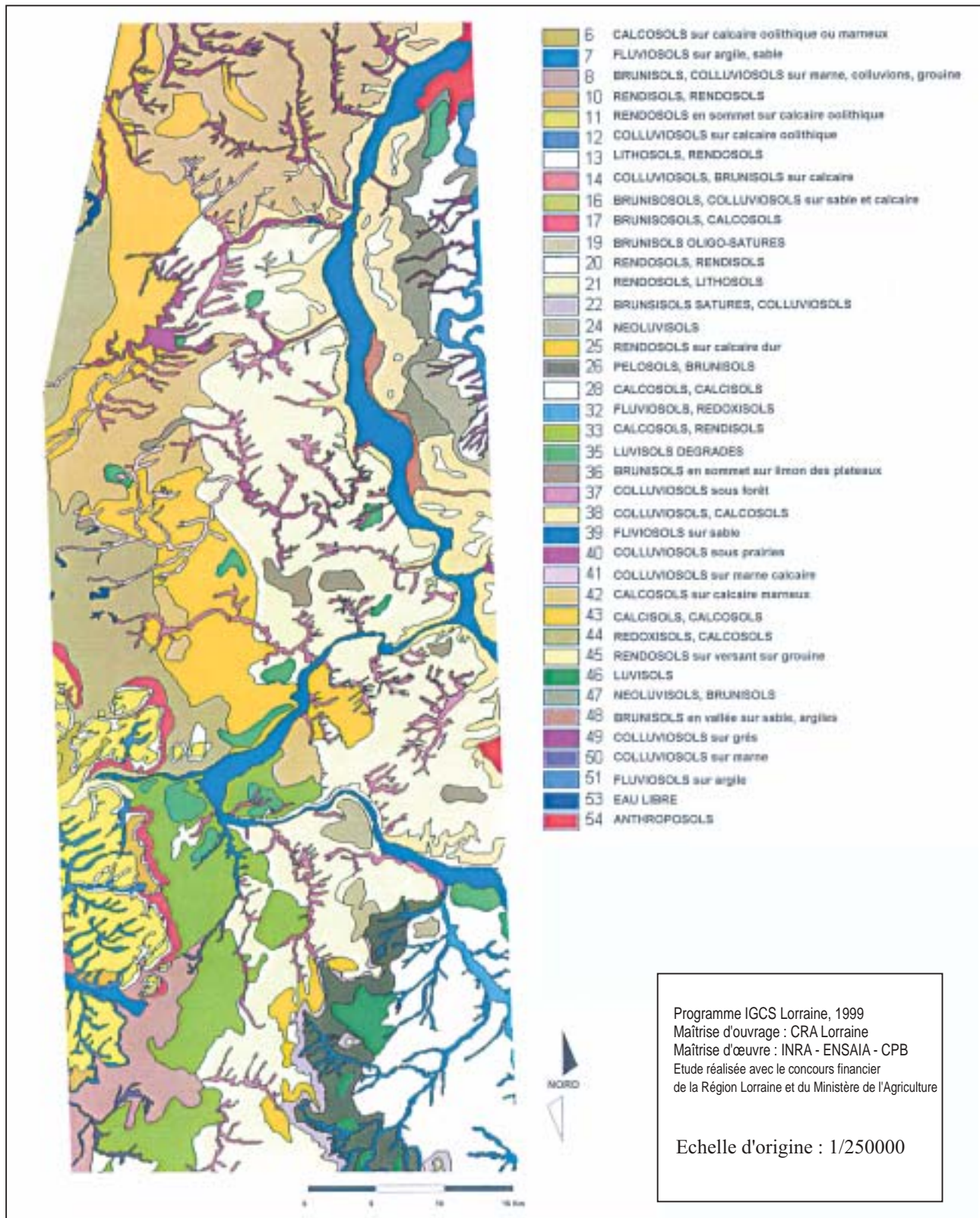
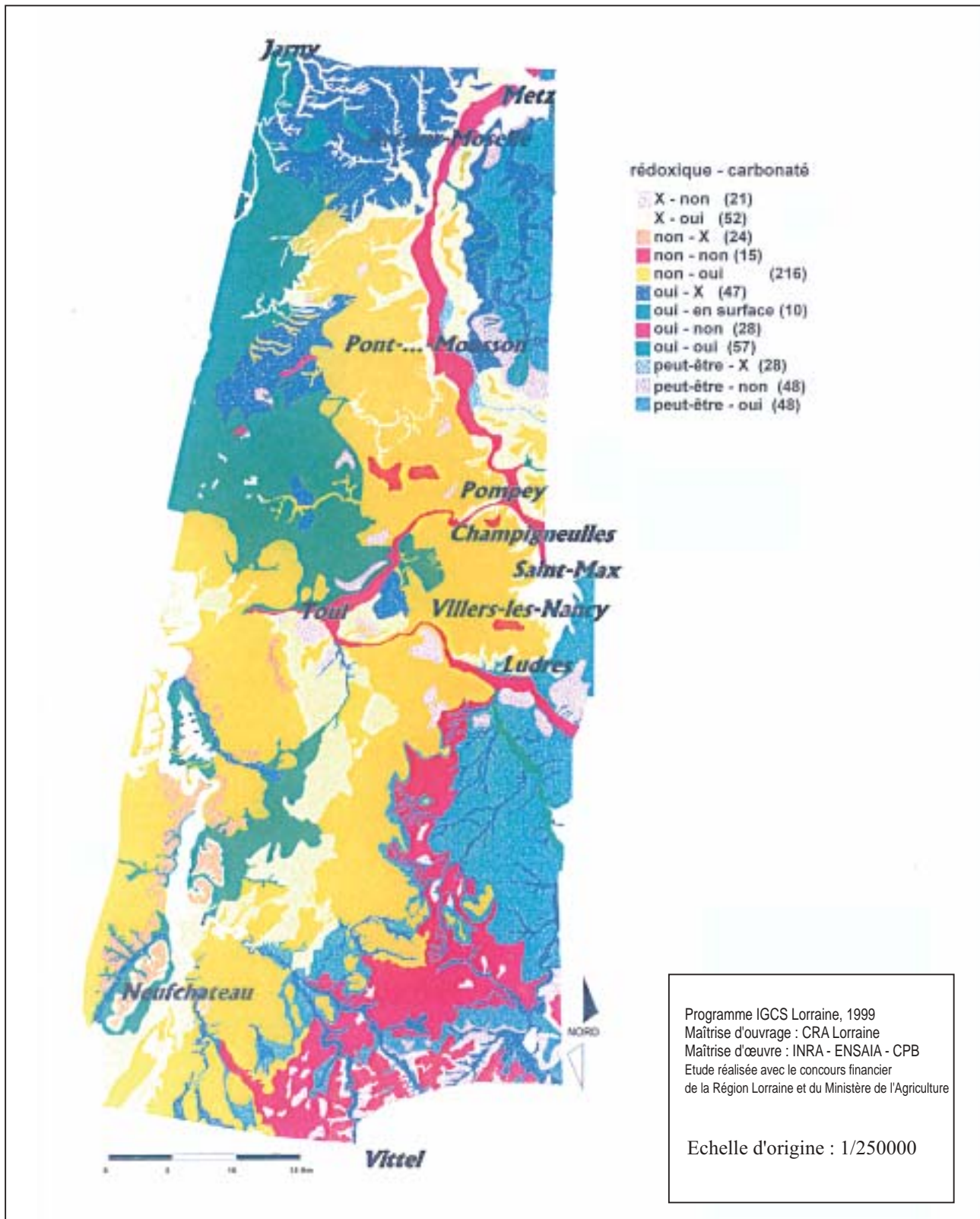


Figure 4 - Carte de l'« ambiance pédogénétique » des sols

Figure 4 - « Pedogenetic environment » map



L'apport des images satellitaires pour l'interprétation en pédopaysages est une bonne solution : la synthèse des données pédologiques en est facilitée.

Lorsque les données pédologiques disponibles sont insuffisantes pour appliquer immédiatement la méthode par synthèse, il est bien évident que la méthode par segmentation s'impose, à condition d'effectuer toutes les observations de terrain et toutes les analyses de laboratoire nécessaires pour caractériser au mieux le contenu des unités de pédopaysages. Les sites à étudier seront dénombrés en fonction du niveau de qualité recherché (1, 2, 4... pour 1000 hectares) et les emplacements seront évidemment localisés par une méthode d'échantillonnage stratifié en fonction de la superficie des unités cartographiques ou par transects explicitant au mieux les lois chorologiques et permettant de répondre aux questions qu'on s'est posées lors de la segmentation de l'image.

Dans ce cas de figure, une méthode strictement par synthèse nécessiterait pour sa mise en œuvre des investigations lourdes demandant beaucoup de temps et d'un coût très élevé.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient tout particulièrement :

- Raymond Hardy, coordinateur du projet IGCS pour l'INRA,
- François Limaux de la Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine, et Jean-Yves Sommier, chef du Bureau des sols et responsable du programme IGCS au Ministère de l'Agriculture, qui ont assuré respectivement la maîtrise d'ouvrage de la démarche par synthèse et de celle par segmentation,
- Marc Benoît et Elisabeth Bienaimé, de l'INRA grâce à qui l'informatisation et la numérisation des données ont pu être menées à bien,
- Jean-Marc Gilliot de l'INA PG pour la numérisation des données et l'installation sous SIG (Map-Info) de la carte des pédopaysages et Francine Lim pour la confection des figures.

BIBLIOGRAPHIE

- Antoni V. et Girard M-C., 1996 - Reconnaissance régionale des sols du Tarn et Garonne. Etablissement d'une carte des pédopaysages à l'échelle du 1 : 250 000. ADEPRINA. 37 p.
- Baize D., 1993 - Petites régions naturelles et paysages pédologiques de l'Yonne. Institut National de la Recherche Agronomique, Orléans. 191 pages.
- Baize D., Girard M-C. eds, 1995 - Référentiel pédologique. Principaux sols d'Europe. Plaisir, Versailles, AFES-INRA Éditions. 222 p.
- Bertrand P., 1994 - Elaboration d'une base de données localisées sur les agropaysages à partir d'images satellitaires. Application à l'étude des organisations spatiales et à la segmentation du département de l'Yonne. Mémoire de Mastère « Système d'Informations Localisées pour l'Aménagement des Territoires ». Institut National Agronomique Paris-Grignon. 46 p.
- Bornand M., Barthes J.-P., Bonfils P., Legros J.-P., Conventi S., 1988 - Région Languedoc-Roussillon. Carte régionale des sols et des contraintes du

milieu à l'échelle du 1 : 250 000. Essai méthodologique. Convention PIM CEE Régions.

- Burlot F., 1995 - De l'interprétation visuelle à l'interprétation automatique des images satellitaires : application aux pédo- et hydropaysages. Mémoire Mastère SILAT. Grignon. 65 p.
- Calvet R. et Girard M-C., 1989 - « Eléments de connaissances des sols ». Cours de 1^{re} année INA P-G. 167 p. Grignon.
- Carte de la France au 1 : 1 000 000, 1967 - INRA éd. Paris.
- Carte de la végétation de la France au 1 : 200 000 - CNRS, Toulouse.
- Carré F., 2002 - Cartogenèse des sols et changements d'échelle. Application dans la région de La Rochelle sur une base de données pédologiques de plusieurs milliers d'observations. Thèse INA PG, 391p
- Dubois D. et Prade H., 1988 - An Introduction to Possibilistic and Fuzzy Logics, chapter 10, pages 287-315. In Academic Press, Harcourt Brace Jovanovitch, 1988.
- ENSAIA, 1979 - Valorisation du potentiel agricole des sols lorrains. Recensement et analyse des cartes pédologiques. EPR, Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine.
- ENSAIA-SAFE, 1980 - Esquisse pédologique de la Région Lorraine au 1 : 250 000. EPR, Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine.
- Fabiani P.J., 1994 - Probabilités or possibilities ? toward a new approach in temporal representation of beliefs. In Proceedings of the 14^{es} Journées Internationales d'Avignon - IA 94 - Paris, pages 89-98. AFIA, EC2.
- Favrot J-C., Arrouays D., Bornand M., Girard M-C., 1995 - Connaissance des sols et développement : le programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols. Hommes terre et eaux, vol 25, n° 100. pp. 41-56.
- Francoeur T., 1997 - Détermination des agropaysages du département du Rhône par interprétation visuelle de données satellitaires SPOT. Réalisation d'une base de données spatialisée. Rapport INA PG. Chambre régionale d'agriculture de Rhône-Alpes. 34 p.
- Gaddas F., 2001 - Proposition pour une méthode de cartographie des pédopaysages. Thèse de l'INA PG. 212 p.
- Gilliot J-M., Bertrand P., Girard M-C., 1995 - Cartographie agropaysagère à partir d'images SPOT : réalisation d'un SIG du département de l'Yonne. SIG et gestion de l'environnement : nouveaux outils, nouvelles pratiques". CEMAGREF éd. pp. 261-270.
- Gilliot J.-M. et Girard M-C., 1996 - Étude de la vulnérabilité des sols à l'érosion, dans la vallée de l'Orvin - Chambre d'agriculture de l'Aube. 15 p.
- Gilliot J.-M. et Girard M-C., 1997 - Le programme Inventaire, gestion et conservation des sols et les pédopaysages. Application à une zone de la Lorraine. Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine, 30p + annexes.
- Girard C-M., Girard M-C., 1975 - Applications de la télé-détection à l'étude de la biosphère. 184 p. Masson.
- Girard M-C., 1983 - Recherche d'une modélisation en vue d'une représentation spatiale de la couverture pédologique. Application à une région des plateaux jurassiques de Bourgogne. Paris 7. publié dans SOLS 12, 414 p.
- Girard M.-C., 1993 - L'agropaysage, concept permettant de segmenter spatialement le milieu naturel à des fins d'analyse agronomique. Rapport Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, DERF, Bureau des sols. 17 pages.
- Girard M-C., 1994 - Présentation du programme Inventaire, Gestion et Conservation des sols. Séminaire IGN/IFEN, Information environnementale et information géographique. pp. 89-93.
- Girard M-C., 1995 a- Bilan et réflexions sur l'utilisation des SIG en agriculture. Un exemple : le programme national Inventaire, Gestion et Conservation des Sols. « La cartographie pour la gestion des espaces naturels ». CEMAGREF éd. pp. 73-77.
- Girard M-C., 1995b - 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) : 7-24.

- Girard CM, Gilliot JM, Girard MC, Thorette J., 1997 - Comparaison de la cartographie de l'occupation des terres par classification de données de télédétection avec la cartographie CORINE niveau 3: application à une zone au nord-ouest de l'Ile-de-France. *Rev. Int. de Géomatique*, vol 7, n° 1, pp. 57-86
- Girard M-C. et Girard C.M., 1999 - Traitement des données de télédétection. DUNOD, 544 p + Cédérom.
- Girard M-C., Soyeux E., Bornand M., Yongchalemchai C., 1993 - Structuration de l'espace régional et protection des ressources naturelles. *C.R. Acad. Agric. Fr.* 79: 37-50.
- Gopal S. et Woodcock C.E. - 1992 - Theory as methods for accuracy assessment of thematic maps using fuzzy sets. *P.E.R.S.*, 60, pp. 181-188.
- Gury M., 1973. Carte pédologique du plateau de Haye. Université de Nancy I, CNRS-CPB.
- Horemans -1969 - La carte au 1: 250 000, feuille de PARIS, SESCOF, INRA, Orléans
- Jacquin F. et Florentin L. - 1988 - Atlas des sols de Lorraine, Presses Universitaires de Nancy, 113 p.
- Larousse Agricole, 2002 - 767 p.
- Perrin P., 1979 - Cartographie de certains critères agronomiques des sols basés sur la photo-interprétation. DAA INA PG, 90 p.
- REFERSOLS, 1995 - Répertoire pour la France d'Etudes pédologiques avec cartographie détaillée des sols (1: 5 000 à 1: 25 000). (Secteurs de référence et autres études). Fiches signalétiques des études répertoriées. INRA, Montpellier
- Yongchalemchai C., 1993 - Etude d'objets complexes, sol/plante, à différents niveaux d'organisation: de la parcelle au paysage. Thèse de l'INA PG. Sols, Grignon. n° 19, 232 p.

PUBLICATIONS ET DOCUMENTS PUBLIÉS PAR L'AFES

REVUES

SCIENCE DU SOL

Revue scientifique publiée de 1952 à 1993.
Elle comporte 300 à 400 pages par an. Un index est présenté tous les ans dans le quatrième numéro.
A cessé de paraître fin 1993. Certains numéros disponibles.

LA LETTRE DE L'ASSOCIATION

Publiée quatre fois par an, ce journal annonce les nouvelles de l'association, les réunions nationales et internationales ; il donne des critiques d'ouvrages, de thèses, de la documentation, etc.

La Lettre est envoyée à chaque adhérent de l'association : elle accompagne l'adhésion.

Rédacteur en chef : J.P. Rossignol, ENITH, Angers.

ÉTUDE ET GESTION DES SOLS

Revue trimestrielle, francophone traitant de la connaissance et de l'usage des sols.

Rédacteur en chef : M. Jamagne.

Secrétariat de rédaction : Micheline Eimberck et J.P. Rossignol.

Le Comité Éditorial est composé de trente membres de France et de pays francophones.

OUVRAGES

LE LIVRE JUBILAIRE (1984)

Point sur les acquis à cette date en matière de science du sol et de pédologie.

FONCTIONNEMENT HYDRIQUE ET COMPORTEMENT DU SOL (1984)

PODZOLS ET PODZOLISATION

par D. Righi et A. Chauvel : ouvrage publié en coédition par l'AFES et l'INRA, avec le concours du CNRS, de l'ORSTOM, et de la région Poitou-Charentes (1987).

MICROMORPHOLOGIE DES SOLS/SOIL MICROMORPHOLOGY

par N. Fédoroff, L.M. Bresson, Marie Agnès Courty, publié par l'AFES avec le concours du CNRS, de l'INAPG, de l'INRA, du Ministère de l'Environnement et de l'ORSTOM (1985) (épuisé).

CARTE MONDIALE DES SOLS ET SA LÉGENDE

Présentée sous forme de deux diapositives (1984).

LE RÉFÉRENTIEL PÉDOLOGIQUE

Principaux sols d'Europe, deuxième édition 1995. Ouvrage collectif publié par l'AFES et l'INRA.

SYNTHÈSE NATIONALE DES ANALYSES DE TERRE : PÉRIODE 1990-1994

par C. Walter, C. Schwartz, B. Claudot, P. Arousseau et T. Bouedo, avec le concours du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.

ACTES DU XVI^E CONGRÈS MONDIAL DE SCIENCES DU SOL, MONTPELLIER - AOÛT 1998