



## Note technique

# Numérisation d'études pédologiques à moyennes échelles : Méthodologie et estimation des coûts

M. Eimberck et B. Joly

INRA 1106 - Unité INFOSOL, Avenue de la Pomme de Pin, BP 20619, Ardon, 45166 Olivet cedex 6

### RÉSUMÉ

Les connaissances acquises sur les sols depuis plus de 30 ans constituent un capital qu'il est indispensable de sauvegarder et d'organiser en bases de données plus aisément utilisables que les cartes traditionnelles. L'Unité INRA InfoSol a entrepris la numérisation des études à 1/100000 initiées jusqu'en 2001 par le Service d'Etudes des Sols et de la Carte Pédologique de France.

Ceci constitue l'un des axes majeurs du programme Connaissance Pédologique de la France, volet du programme national d'inventaire multi-échelles I.G.C.S.

La structuration des données est faite selon le Modèle d'Organisation des Sols DoneSol du programme I.G.C.S., afin d'assurer la cohérence et l'harmonisation de l'ensemble des données à toutes les échelles d'inventaire.

Un cadre méthodologique est proposé à partir de trois exemples de cartographies pédologiques différentes dans leurs concepts et leur échelle :

- les cartes à 1/100 000 de Brive la Gaillarde et Châteaudun (Carte Pédologique de France), synthétiques et de type morphogénétique
- une portion de la Carte des Sols de la région Centre à 1/50 000, de type analytique (type de sol associé à 9 critères).

Les différentes étapes de mise au format des données extraites des cartes et des notices sont présentées en distinguant les opérations automatiques (ou automatisables) et les phases d'expertise.

Une estimation du temps de travail et des coûts, nécessaire à la réalisation de telles opérations, est proposée.

### Mots clés

Numérisation graphique et sémantique, modèle d'Organisation Spatiale des Sols, DoneSol, bilan cartographique, Carte Pédologique de France, Carte des Sols de la région Centre.



**SUMMARY****NUMERISATION OF THE MEDIUM SCALES SOIL STUDIES (FROM 1:100 000 TO 1:50 000) :****Methodology and estimation of working time**

Soil knowledge carried out since thirty years constitute a capital that we have to save and integrate in databases easier to use than conventional maps.

So INRA-InfoSol division has begun for a few years to numerise the 1:100 000 scale soil maps undertaken until 2001 by the French Soil Survey.

This action is one of the main topics of the programme "Connaissance Pédologique de la France" which is a part of the national multiscale Soil Inventory I.G.C.S. programme.

Data is organized according to the soil spatial organisation model of IGCS programme to assure coherence and harmonisation of all the data at every survey scale.

A methodology for numerisation is proposed with three examples of soil maps different in their concepts :

- 1:100 000 soil maps of Brive-la-Gaillarde et Château dun, with a morphogenetic and synthetic system for soil units presentation ;
- a part of the 1:50 000 Soil Map of Centre, with an analytic system (soil type combined with 9 criteria to define soil units).

The different steps of soil data numerisation processing are described, separating automatic and expert operations, and an estimation of working time is proposed.

**Key-words**

Graphic and semantic numerisation, Soil Spatial Organisation Model, DoneSol, Assessment for map, French Soil Map, Soil Map of région Centre.

**RESUMEN****DIGITALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS PEDOLÓGICOS A MEDIANAS ESCALAS (1/100 000 - 1/50 000) :****Metodología y dimensión de las operaciones**

Los conocimientos adquiridos sobre los suelos desde más de treinta años constituyen un capital que está indispensable salvar y organizar en bases de datos más fácilmente usadas que los mapas tradicionales. La unidad INRA Infosol emprendió la digitalización de los estudios a 1/100000 realizados hasta 2001 por el servicio de Estudios de Suelos y del Mapa Pedológico de Francia.

Este constituye uno de los ejes mayores del programa Conocimiento Pedológico de Francia, aspecto del programa nacional de inventario pluri escalas I.G.C.S.

La estructuración de los datos se hace según un Modelo de Organización de los Suelos Donesol del programa I.G.C.S., para asegurar la coherencia y la armonización del conjunto de los datos a todas las escalas de inventario.

Se propone un cuadro metodológico a partir de tres ejemplos de cartografías cartográficas diferentes en sus conceptos.

- los mapas a 1/100000 de Brive-la-Gaillarde y de Chateaudun (Mapa Pedológico de Francia), sintéticos y de tipo morfogenético.
- una porción del mapa de suelos de la región Centro a 1/50000, de tipo analítico (tipo de suelo con 9 criterios).

Se presentan las diferentes etapas de puesta al formato de los datos extraídos de los mapas y de las reseñas, y se distinguen las operaciones automatizables y las fases de peritaje.

Se propone una estimación del tiempo de trabajo necesario a la realización de estas operaciones.

**Palabras clave**

Digitalización gráfica y semántica, modelo de Organización espacial de suelos, Donesol, balance cartográfico, mapa pedológico de Francia, mapa de suelos de la región Centro.



inité en 1968 par le S.E.S.C.P.F.<sup>1</sup>, structure remplacée par l'Unité InfoSol en 2001, le programme Connaissance Pédologique de la France (CPF) avait pour but initial la cartographie des sols du territoire à l'échelle du 1/100 000 (Jamagne *et al.*, 1989 ; Jamagne et Boulaïne, 2004).

L'impossibilité de réaliser un inventaire exhaustif du territoire dans un délai acceptable apparut rapidement (Arrouays *et al.*, 2004). L'inventaire à cette échelle fut donc remplacé à partir de 1990 par le programme R.R.P.<sup>2</sup> à 1/250 000, mis en place par l'INRA et le Ministère de l'Agriculture, dans le cadre du programme national multi-échelle I.G.C.S.<sup>3</sup> (Bornand *et al.*, 1989)

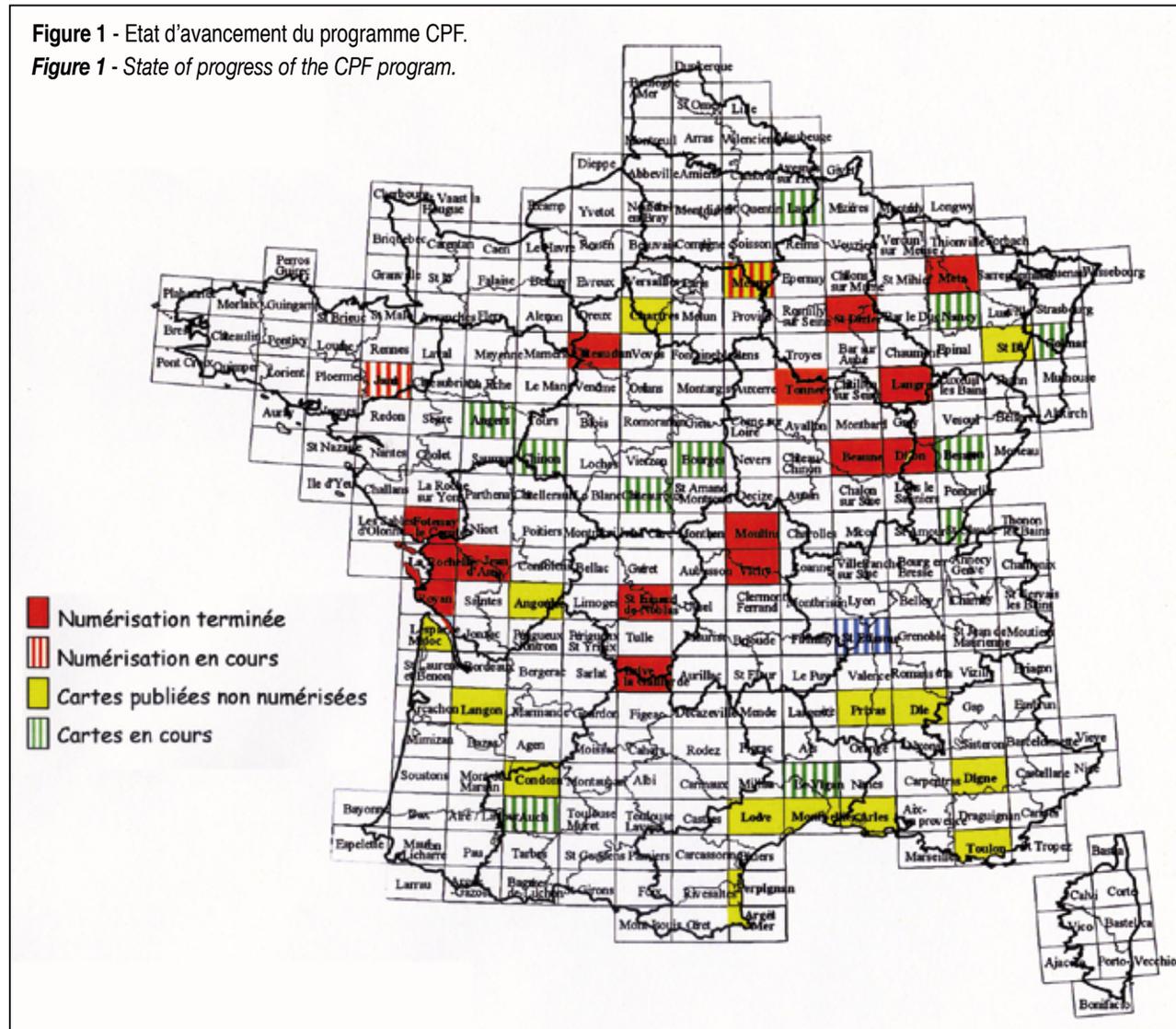
Cependant les inventaires à échelles moyennes (1/50 000 à 1/100 000) concentrent la majorité des connaissances acquises en

pédologie dans les années 1970-2000. Ils constituent un gisement de connaissances considérable qui, complétées par des inventaires régionaux, pourraient aboutir à une bonne représentativité des sols français (King et Saby, 2001).

Malheureusement, ces connaissances des sols ne répondent pas toujours aux demandes exprimées car elles ont souvent été produites selon un codage scientifique difficile à interpréter et qui peut varier.

L'un des objectifs du programme CPF est donc de valoriser et de diffuser les informations en les organisant dans des bases de données numériques. Démarrée en 1997, la numérisation s'est accélérée à partir de 2002 (1 à 2 coupures par an). La *figure 1* présente l'état d'avancement de la numérisation au début de l'année 2008.

**Figure 1 - Etat d'avancement du programme CPF.**  
**Figure 1 - State of progress of the CPF program.**



<sup>1</sup> S.E.S.C.P.F. : Service d'Etude des Sols et de la Carte Pédologique de France  
<sup>2</sup> R.R.P. : Référentiel Régional Pédologique à l'échelle de 1/250 000  
<sup>3</sup> I.G.C.S. Inventaire, Conservation et Gestion des Sols

Cette note a pour but d'exposer la démarche adoptée lors de la numérisation de données pédologiques préexistantes, assurant ainsi harmonisation, disponibilité et sauvegarde de l'information. L'objectif poursuivi n'est pas de répondre de façon exhaustive à tous les cas de figure, mais de fournir un cadre méthodologique ainsi qu'une estimation de la charge de travail liée à ce genre d'opération. Trois exemples sont présentés, choisis pour la diversité de leur échelle et de leur conception : Brive-la-Gaillarde et Chateaudun à 1/100 000 et Grande Sologne/Val de Cher à 1/50 000.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Le Modèle d'Organisation des Sols (MOS) d'IGCS et DoneSol

Dans leurs conceptions classiques, les cartes de sols ont pour objectifs principaux de pérenniser et transmettre l'information (Jamagne, 1993) qui représente une synthèse graphique d'une partie de la couverture pédologique, appréhendée au travers d'un Modèle d'Organisation Spatiale des Sols particulier et dont la notice constitue la description sémantique plus ou moins détaillée (King *et al.*, 1989). Depuis la création du SESCOF, les concepts définissant la cartographie des sols ont évolué (Chrétien *et al.*, 1993 ; Jamagne et King, 2003), et ont abouti, quelles que soient les échelles, à la définition d'un Modèle d'Organisation des Sols (MOS), commun à l'ensemble des études IGCS. On distingue au sein du MOS IGCS des **objets sols, ponctuels** (Horizon, Profil) ou **surficiels** (Unité Typologique de Sol, Strate, Unité Cartographique de Sol) (*figure 2*) bien définis et des objets « **pédo-environnementaux** », que l'on peut qualifier de notions expertes : les régions naturelles ou petites régions naturelles pédologiques et les pédopaysages. (*cf. Dictionnaire DoneSol*<sup>4</sup>)

#### Les objets sols

##### • Profils et horizons

L'inventaire des sols repose principalement sur l'observation des sols sur le terrain, sous la forme de sondages à la tarière, de coupes ou de fosses pédologiques. Ces observations, dites ponctuelles, sont localisables par leurs coordonnées géographiques (longitude, latitude). La couverture pédologique peut être découpée en horizons ou en solums, succession verticale d'horizons qui forment le sol depuis la surface jusqu'au matériau parental ou au substrat.

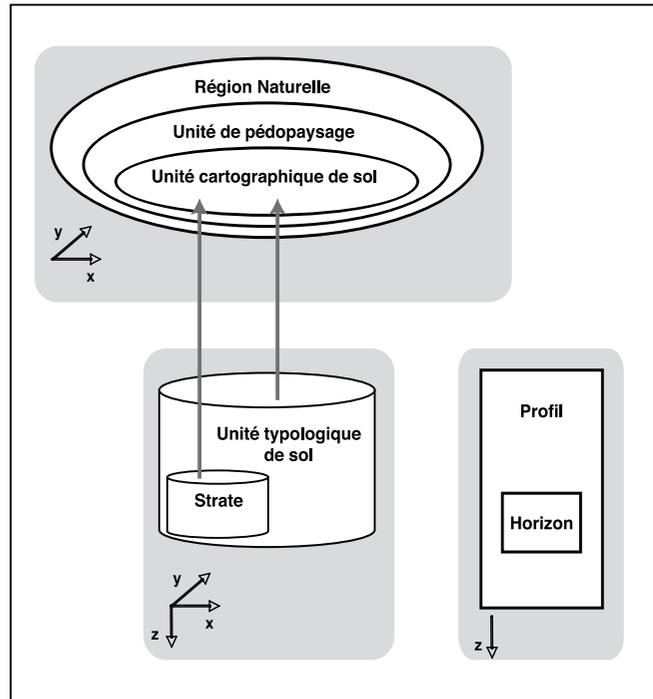
##### • Unités Typologiques de Sol et strates

L'Unité Typologique de Sol (UTS) représente une portion de la

<sup>4</sup> DoneSol : dictionnaire de données, version téléchargeable sur le site du Gissol (<http://www.gissol.fr/outill/DonSol/DonSol.php>)

**Figure 2** - Emboîtement des différents objets du Modèle d'Organisation des Sols d'I.G.C.S.

**Figure 2** - Interlocking of the different components in the I.G.C.S. Soil Organisation Model according to their geometric dimensions.



couverture pédologique qui montre les caractères diagnostiques d'une pédogenèse identique (définissant le type de sol) et qui présente en tout lieu de l'espace la même succession d'horizons, l'un ou l'autre de ces horizons pouvant être absent. La strate représente, quant à elle, la variation dans l'espace d'un horizon, ou d'une couche issue d'un regroupement de plusieurs horizons (lorsque ceux-ci présentent entre eux des variations très faibles de leurs caractéristiques).

##### • Unités Cartographiques de Sol

L'Unité Cartographique de Sol (UCS) est une portion du paysage dont les facteurs de genèse des sols sont homogènes [morphologie, topographie (altitude, pente...), géologie, climat, et pour certains cas occupation du sol]. Par définition, une UCS est donc unique.

Pour réaliser une cartographie des sols, on peut, selon l'échelle de restitution, soit délimiter des plages cartographiques n'ayant qu'un seul type de sol (UTS), soit délimiter des plages cartographiques comprenant plusieurs types. Dans le premier cas, on parle d'unités cartographiques simples, et dans le second cas, d'unités complexes à l'intérieur desquelles les limites des UTS ne sont pas connues ; on décrit alors le mode d'organisation spatiale des UTS au sein de l'UCS et leur proportion relative.



sation

3. Soil

### Les objets pédo-environnementaux (notions expertes)

Ces objets appartiennent au domaine de la cartographie morphopédologique (Tricart, 1978) ou pédo-physiographique et prennent en compte les formes du relief, la végétation, la géologie, le climat et suivant l'échelle considérée, le sol, pour aboutir à un inventaire du paysage en niveaux emboîtés (Legros, 1996). Il existe pour ces objets une terminologie largement utilisée, mais dont l'application reste en partie intuitive.

#### • Pédopaysages

Le pédopaysage se définit comme « l'ensemble des horizons pédologiques et des éléments paysagiques (végétation, effets des activités humaines, géomorphologie, hydrologie, substrat ou matériau parental) dont l'organisation spatiale permet de caractériser dans son ensemble une (ou partie d'une) couverture pédologique » (Girard *et al.*, 2005).

La délimitation des pédopaysages revient à « identifier des petites unités naturelles paraissant homogènes à un certain niveau, quant à leur géologie, leur pente et tout autre élément environnemental et « regroupant » les sols d'une manière pertinente » (Legros, 1996).

Ces termes montrent la forte proximité existant entre la notion d'unité de pédopaysage (UPP) et celle d'unité cartographique de sol, la subordination de cette dernière à une échelle cartographique interdisant cependant de parler de similitude au sens strict.

De manière générale, en milieu tempéré humide, l'ordre de grandeur des unités de pédopaysage est kilométrique à déca-kilométrique (Jamagne *et al.*, 1993). Il est couramment admis qu'à l'échelle du 1/250 000 et du 1/100 000, les UCS correspondent à des unités de pédopaysage ; ce sont donc la plupart du temps des unités complexes.

#### • Régions Naturelles ou Petites Régions Naturelles Pédologiques

A l'échelle régionale, la Petite Région Naturelle (PRN) est définie par une association d'unités pédopaysagères pour laquelle les constituants environnementaux ne sont pas homogènes mais « forment un « patchwork » dont l'aspect est toujours le même d'un bout à l'autre de la région » (Legros, 1996). Leur existence relève généralement de l'expertise. En plus des données caractérisant le milieu physique (géologie, géomorphologie, pédologie, climat), la petite région naturelle intègre l'occupation du sol dont on peut souligner, suite aux interventions humaines nombreuses, les mutations rapides qui permettent de s'affranchir de plus en plus des contraintes du milieu physique (Baize, 1993) ; ceci constitue la principale difficulté à formaliser une méthode de caractérisation de la région naturelle.

Contrairement aux objets sols, les notions expertes (objets pédo-environnementaux) ne conditionnent pas la structure de la Base de données Nationale DoneSol, mais sont pourtant à la base du découpage de la couverture pédologique.

### DoneSol

Dans le but d'harmoniser la saisie de l'information pédologique et d'éviter les dérives, rendant parfois incompatibles les bases de données produites par les différents partenaires, l'INRA a conçu une structure permettant de regrouper de façon homogène l'ensemble des informations sémantiques des différents programmes d'inventaires et de cartographie des sols français, en relation avec les données graphiques de ces mêmes inventaires (Legros, 1996). De nombreux éléments, comme l'intégration des programmes de surveillance de la qualité des sols, ont abouti à faire évoluer ce modèle qui est utilisé depuis 2001 dans sa version 2 et dont les principales fonctions sont (Grolleau *et al.*, 2004) :

- stockage des données de cartographie pédologique variant dans le temps et / ou l'espace,
- interrogation et comparaison de données brutes,
- interrogation et comparaison de données synthétiques,
- application de modèles sur tout ou partie de la base de données.

L'interface DoneSol -WEB permet de renforcer les procédures de contrôle et assure la compatibilité de l'ensemble des données saisies.

La partie du modèle de données DoneSol spécifique au programme IGCS est résumée *figure 3*.

Rappelons que le programme IGCS est multi-échelles, et que donc le modèle DoneSol est utilisable à toutes les échelles. Il assure la cohérence des données entre elles<sup>5</sup>.

### Nature et organisation des données : exemples d'études à 1/100 000 et 1/50 000

#### Structure de la carte pédologique de France au 1/100 000

Cette carte est synthétique, du type morphogénétique : le découpage de la couverture pédologique est basé sur l'évolution pédogénétique des sols à laquelle sont intégrées l'origine et la nature des matériaux, l'intensité de l'hydromorphie (Jamagne *et al.*, 1993), ainsi que des informations concernant la géomorphologie, la topographie, l'occupation du sol. Le travail que nous présentons a porté sur les feuilles de Brive-la-Gaillarde (Bonfils, 1976) et Châteaudun (Isambert, 1984).

#### Les données graphiques

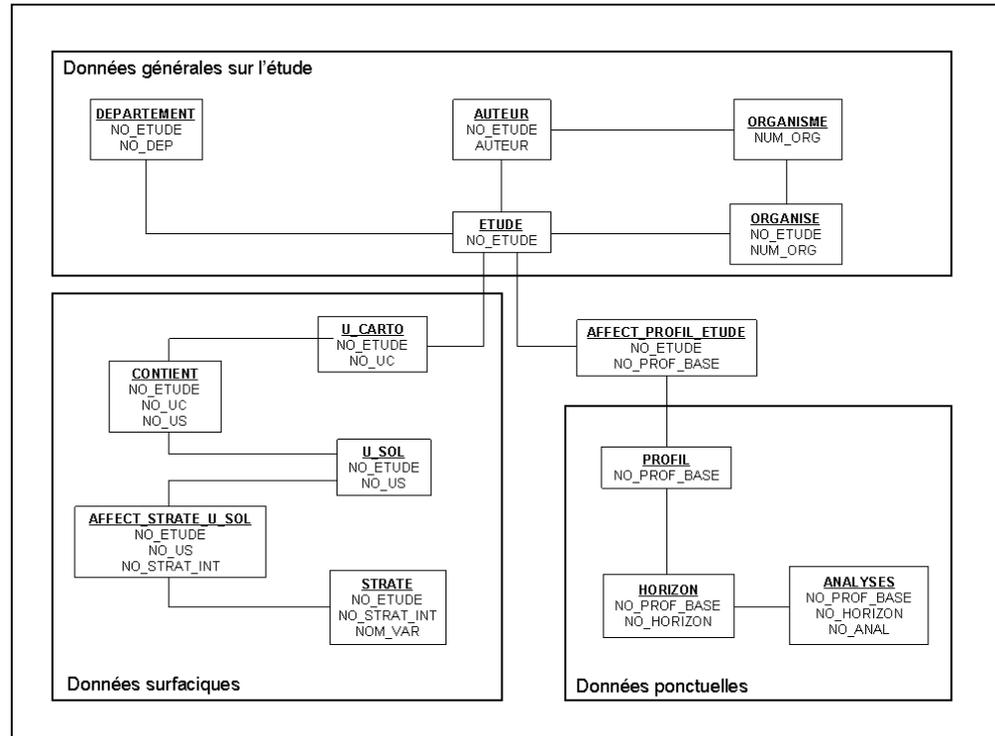
Les cartes représentent un découpage de l'espace géographique (environ 220 000 ha par coupure) en polygones (respectivement 2187 pour Brive et 3716 pour Châteaudun). Ceux-ci forment un cadre géométrique à l'intérieur duquel la distribution spatiale

<sup>5</sup> \*ainsi par exemple, les données d'un Secteur de Référence cartographié à l'échelle du 1/25 000, situé au sein d'un périmètre plus large inventorié à 1/100 000, pourra venir enrichir directement la base de ce dernier.



**Figure 3** - Schéma conceptuel de DoneSol spécifique au programme I.G.C.S.

**Figure 3** - Conceptual scheme of DoneSol in I.G.C.S. program.



d'unités cartographiques de sol est donnée. Dans ces deux cas, les polygones ne contiennent le plus souvent qu'un type de sol, constituant ainsi des unités cartographiques simples. Dans ce cas, UCS et UTS sont équivalentes. A chaque polygone est affecté un numéro renvoyant aux différentes unités pédologiques.

#### Les données sémantiques

Pour chaque feuille la définition des unités de sol est synthétique et rattachée à la classification française CPCS 1967. Elle est basée sur la différenciation du solum (processus pédologiques = Groupe) et intègre dans la définition l'intensité des processus (sous-groupe), la géomorphologie et la nature du matériau parental. Elle correspond donc, au plan de la taxonomie, au niveau de la famille. Les unités de sol sont différenciées par une teinte plate (type de sol), parfois complétée par des figurés (économie en eau ou matériau parental).

- La première source d'informations sémantiques est constituée par la légende de la carte qui donne une brève description de chaque unité de sol et lui associe un sigle conventionnel en deux parties. La première partie fait référence aux sous-groupes de la C.P.C.S. et se traduit sur la carte par la couleur de fond des plages et par des figurés bleus, lorsqu'il y a possibilité d'engorgement du sol. La deuxième partie fait référence aux familles de sol de la même classification et se traduit sur la carte par des figurés gris.

- La deuxième source d'informations sémantiques est constituée

par la notice. Elle comporte un ensemble de descriptions et analyses de profils ainsi qu'une caractérisation détaillée des unités de sol. Suivant les cartes, un certain nombre d'unités de sols peu représentées n'ont pas été analysées, et sont simplement décrites qualitativement.

Pour la carte de Brive-la-Gaillarde, la description qualitative est une synthèse d'observations de terrain dont la densité est en moyenne de 1 pour 70 hectares. Pour la description quantitative des unités, la densité des profils est en moyenne de 1 pour 750 hectares, les prélèvements et analyses au sein des grandes unités ayant été privilégiés.

Pour la carte de Châteaudun, la description qualitative est une synthèse d'observations de terrain dont la densité varie entre 1 pour 10 à 1 pour 40 hectares suivant la surface de l'unité considérée. Pour la description quantitative des unités, la densité des profils analysés varie de 1 pour 2000 hectares pour les grandes unités, à 1 pour 300 hectares pour les plus petites (1 pour 450 hectares en moyenne).

#### Format et contenu des données disponibles

Concernant l'information géographique, pour les deux coupures, seules les cartes papier étaient disponibles.

L'ensemble des données sémantiques disponibles se trouvait dans les légendes des cartes papier et dans les notices explicatives.



**Tableau 1** - Les 10 variables pédologiques retenues pour l'élaboration de la Carte des Sols de la Région Centre.  
*Table 1 - The 10 pedological variables combined in the Pedological map in Région Centre.*

CLASSIFICATION C.P.C.S	VARIABLE	SIGNIFICATION
Grands types de sols	NAT	Type de sol
Famille de sols	SU	Type de roche-mère ou substrat
Série de sols	TEX	Texture de surface
	TS	Texture du substrat
	AL	Altération du substrat
	HYD	Intensité de la stagnation en eau
	CAIL	Charge caillouteuse
Série dérivée	PS	Profondeur d'apparition du substrat
	PT	Profondeur d'apparition de la texture du substrat
	PA	Profondeur d'apparition de l'altération du substrat

### Structure de la carte des sols de la Région Centre au 1/50 000

Cette carte est de type analytique. L'entrée se fait par type pédogénétique (correspondant au Groupe ou au Sous-Groupe de la classification CPCPS), appelé Type de Sol (NAT), et auquel est attribué une couleur de fond. En chaque point de la carte, le type pédogénétique (ou Type Sol) est combiné à neuf caractéristiques représentées par des surcharges et des lettres. La définition des unités de sols par combinaison de ces 10 variables (NAT+9) correspond là aussi du point de vue taxonomique au niveau de la famille de sol. Notre étude porte sur les secteurs de Grande Sologne et Val de Cher (département du Loir et Cher), extraits des feuilles de Selles-sur-Cher (Lafrêchoux *et al.*, 1983), Vierzon (Dupont et Servant, 1985) et Aubigny-sur-Nère (Dupont et Servant, 1984), soit près de 50 000 ha.

#### Les données graphiques

La carte présente un découpage de l'espace géographique en 647 polygones. Ceux-ci forment un cadre géométrique à l'intérieur duquel est donnée la répartition spatiale de variables pédologiques indépendamment les unes des autres. Chaque polygone ne contient ainsi qu'une combinaison de variables, et correspond à une unité cartographique simple ne contenant qu'un seul type de sol. En outre, les polygones ne contiennent pas de numéro.

#### Les données sémantiques

Les variables pédologiques figurées sur la carte des sols sont au nombre de dix et toutes de type qualitatif. Le *tableau 1* regroupe ces variables présentées dans la légende de la carte. La variable d'entrée, Type de Sol (NAT), correspond au Groupe ou au Sous-groupe de la classification CPCPS (couleur de fond des unités) ; les

autres amènent au niveau de la famille. Le type de sol est représenté par la couleur, la texture et le drainage interne par des trames, et les autres variables par des lettres en surcharge.

La carte a été levée à raison de une observation pour 18 à 25 hectares selon la complexité du terrain, mais le nombre de profils utilisés pour le secteur étudié n'est que de 35 profils (soit 1 profil pour 1 400 ha).

#### Format et contenu des données disponibles

Pour la publication des cartes à 1/50000 de la Région Centre, les différentes coupures ont été digitalisées par l'IGN et géoréférencées en Lambert II étendu. L'INRA a ensuite renseigné chaque polygone délimité avec, pour chacune des dix variables, la modalité qui lui est associée. Les données disponibles sont donc :

- la couverture géographique de polygones numérisée,
- la base de données sémantique, format « Région Centre ».

### Méthodologie de transfert

#### Généralités

La mise au format DoneSol d'une étude de cartographie pédologique consiste en un ensemble d'opérations de traitement de l'information. Ces opérations nécessitent des connaissances, détenues par le pédologue, concernant les lois de distribution des sols et la pédogénèse. Elles sont réalisées à l'aide d'un système d'information géographique renseigné par différentes couches de données relatives aux facteurs de la pédogénèse.

La méthodologie de transfert des données pédologiques existantes au format DoneSol a été conçue de façon à être repro-



ductible, adaptable et relativement simple et rapide à mettre en œuvre.

Toutes les couches d'information géographiques sont calées dans le même système de projection : Lambert II étendu.

Les informations utilisées pour assurer la mise au format DoneSol d'une étude pédologique concernent d'une part les caractéristiques du sol (information contenue dans l'étude pédologique elle-même), et d'autre part les facteurs de la pédogénèse, la topographie, la géomorphologie, la géologie et l'occupation du sol, supports permettant de repérer et décrire différents aspects de la couverture pédologique, notamment lorsque ces travaux ne sont pas effectués par l'auteur de la carte lui-même (ce qui est souvent le cas).

Concernant les facteurs de la pédogénèse, nous avons privilégié l'utilisation d'informations accessibles autant techniquement que financièrement. Les jeux de données présentés dans ce chapitre constituent simplement des exemples et la méthodologie pourra être adaptée à d'autres cartes existantes.

### Les étapes de la numérisation

Le traitement de l'information pédologique est réalisé en 8 étapes dont les relations de dépendance contraignent l'ordre dans lequel ces étapes sont réalisées (figure 4).

### Etape 1 : définition des petites régions naturelles (PRN) et des unités de pédopaysage (UPP)

Pour chaque coupure, le découpage du secteur cartographié en Régions Naturelles et Unités de Pédopaysage a été réalisé par expertise, en croisant les informations contenues dans les notices et des informations annexes renseignant sur le milieu :

- couverture pédologique,
- relief : MNT au pas de 250 m (IGN),
- occupation du sol : Corine Land Cover 2000,
- géologie : carte géologique de France au 1/50 000,
- fond topographique IGN (formes et détails de terrain naturels et anthropiques) (scan IGN 1/100 000).

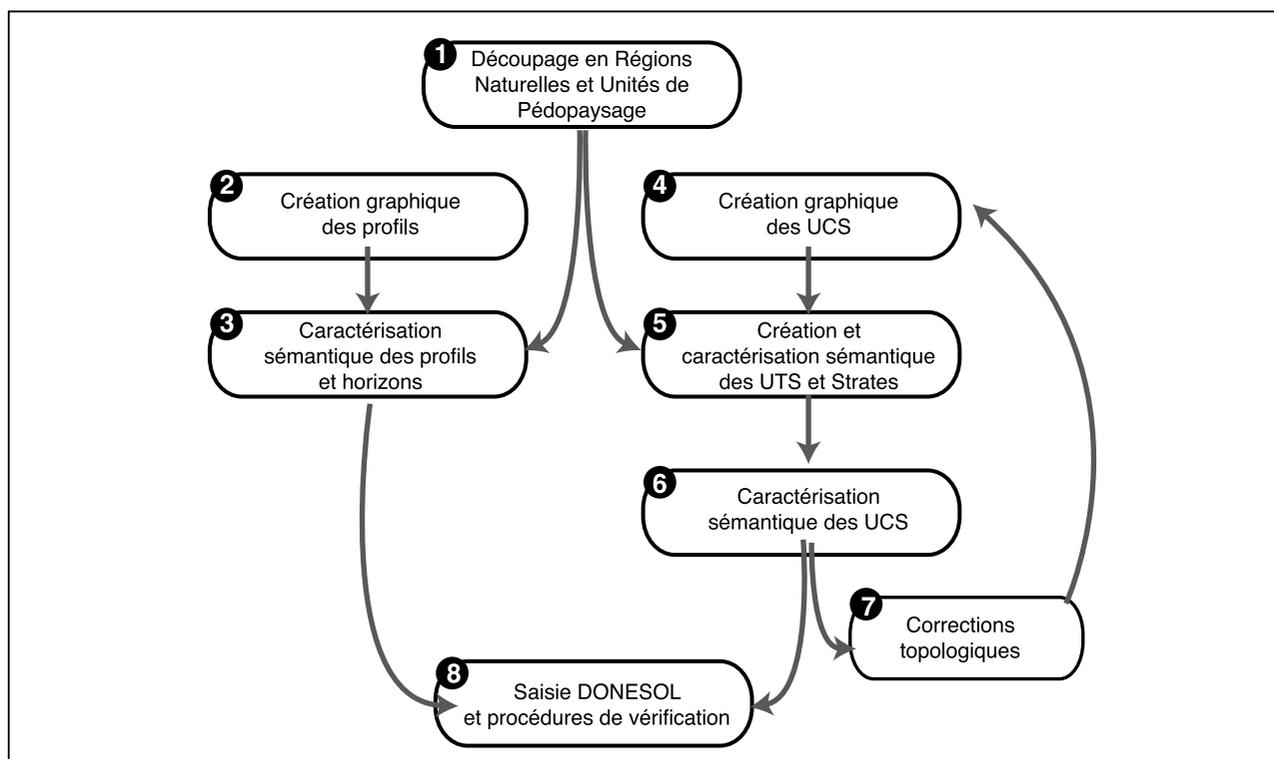
Les éléments discriminants à l'origine de ce découpage ainsi que les entités qui en découlent sont présentés dans les *tableaux 2, 3, 4*.

- Pour la coupure de Brive-la-Gaillarde, les éléments discriminants dans le découpage sont la géologie et la géomorphologie qui montrent des contrastes très forts sur la zone cartographiée.

- Sur la coupure de Châteaudun, les Régions Naturelles ont un contraste plus modéré, les éléments discriminants étant ici la géomorphologie et la lithologie. La lithologie traduit les processus d'érosion qui ont affecté les matériaux en place et / ou les recouvrements allochtones.

Figure 4 - Etapes de traitement de l'information pédologique.

Figure 4 - Steps of Soil information processing.



**Tableau 2** - Régions Naturelles et Unités de Pédopaysage de la carte de Brive-la-Gaillarde.**Table 2** - Natural regions and Soilscape mapping units of the Brive-la-Gaillarde Map.

REGION NATURELLE	GEOLOGIE	GEOMORPHOLOGIE	UNITE DE PEDOPAYSAGE
PLATEAU CRISTALLIN D'ARGENTAT	Roches cristallines magmatiques et métamorphiques	Plateau situé entre 500 et 800 m, subdivisé en cinq parties par des vallées secondaires. Région séparée des formations sédimentaires par un jeu de failles NW-SE.	Plateau
			Versants
			Bordure du plateau
			Zone déprimée et fracturée du houiller
			Coulée volcanique
			Dépressions du plateau
BASSIN DE BRIVE ET DE LA DORDOGNE	Grès permo-triasiques Grès, marnes et calcaires du Trias et Lias	Bassin de Brive : bassin sédimentaire et petits massifs montagneux Bassin de la dordogne : Surface d'aplanissement ou d'érosion (200-300 m) et buttes témoin	Fonds de talwegs
			Surface d'érosion
			Massifs de grès
			Placages
			Zones déprimées et vallées à faible écoulement
CAUSSES DE MARTEL ET DE GRAMAT	Calcaires durs bathoniens et jurassiques	Plateaux fracturés EW montrant un léger pendage SW. Falaises sur la bordure E et S, phénomènes karstiques développés	Fonds de talwegs
			Plateau karstique
			Versants et surfaces d'érosion
LIMARGUE DE ST CERE ET DE PADIRAC	Grès et marnes du Lias	Surface d'aplanissement ou d'érosion (200-300 m). Le limargue de St Céré est séparé du bassin de Brive et de la Dordogne par la vallée de la Dordogne. Le Limargue de Padirac est situé plus en altitude (400 m) sur le Causse de Gramat	Placages
			« Limargue de St Cere et de Padirac »
VALLEES DE LA DORDOGNE ET DE LA CORREZE	Alluvions modernes	Vallée ouverte en amont d'Argentat et très encaissée en aval.	Terrasses anciennes
			Terrasses anciennes, récentes et plaine alluviale

- Pour l'étude Grande Sologne-Val de Cher, le découpage en régions naturelles a nécessité de fusionner les 3 coupures et de regrouper les informations sémantiques dans une table unique. Hormis la vallée du Cher qui constitue un élément géomorphologique de premier ordre, les éléments discriminants du découpage ont été la nature des matériaux parentaux, qui influencent fortement l'économie en eau des sols, et l'occupation du sol.

#### **Etape 2 : création graphique des profils**

Les coordonnées des profils n'étant pas connues de façon précise, elles ont été déduites du scan de la carte des sols, à l'aide du logiciel SIG, permettant ainsi de créer une nouvelle couche d'entités ponctuelles.

#### **Etape 3 : caractérisation sémantique des profils et horizons**

Les descriptions et analyses des profils et horizons ont été directement saisies dans les tables PROFIL, HORIZON et ANALYSES et AFFECT\_PROFIL\_ETUDE, soit 291 profils pour Brive, 164 profils pour Châteaudun et 35 pour Grande Sologne.

#### **Etape 4 : création graphique des UCS**

De manière générale, la géométrie des polygones issus des cartes est conservée dans la mesure du possible dans la base graphique. En effet, il ne s'agit pas de modifier le contour de ces plages mais de redéfinir leur contenu en fonction du Modèle d'Or-

**Tableau 3** - Régions Naturelles et Unités de Pédopaysage de la carte de Châteaudun.**Table 3** - Natural regions and soil scape mapping units of the Chateau dun map.

REGION NATURELLE	LITHOLOGIE	GEOMORPHOLOGIE	UNITE DE PEDOPAYSAGE
FAUX-PERCHE	Peu variée : couverture limoneuse plus ou moins épaisse sur formations argileuses à silex, ces dernières affleurent sur des surfaces importantes	Grand plateau monoclinale incliné vers l'E, fragmenté par de nombreux accidents tectoniques et présentant quelques buttes témoin	Plateau et pentes faibles
			Pentes moyennes à fortes
			Fonds de vallons
BEAUCE CHARTRAINE	Peu variée : couverture limoneuse épaisse sur formations argileuses à silex, ces dernières affleurent rarement	Plaine faiblement ondulée	Plaine
			Versants des vallées principales : pentes moyennes à fortes
			Versants Sud et Ouest des vallons : pentes faibles
BEAUCE DUNOISE	Variée : limons peu épais, calcaires durs ou marneux, grès et poudingues	Bordure W de la plaine de la Beauce calcaire, entrecoupée par des vallées	Plateau calcaire
			Talus du plateau calcaire de Beauce : pentes faibles
			Colluvions des fonds de vallons
PERCHE	Très variée : argiles, sables, craies et calcaires durs, gaize et glauconie et quelques limons	Ensemble complexe de pentes très fortes et replats très disséqués	Buttes témoin
			Pentes dominées par l'argile à silex
			Plateau intermédiaire et bordure du plateau
			Pentes dominées par le plateau intermédiaire
			Surface dégradée de la glauconie
			Effondrement tectonique
VALLEES	Alluvions modernes	Réseau hydrographique dense et complexe dû à une alternance de couches perméables et imperméables. Vallées principales encaissées.	Fonds de vallées
			Terrasses

ganisation des Sols. La réorganisation du découpage en Petites Régions Naturelles et Unités de Pédopaysages n'intervient qu'au niveau de la numérotation mais il en résulte que l'ordre de numérotation des UCS est très important.

Dans un premier temps, les plages cartographiques de l'étude considérée sont réparties dans les PRN, et en fonction de cette répartition, un numéro d'UCS leur est affecté. Par définition, une UCS est unique et ne peut donc appartenir à plusieurs PRN (ou UPP) ; en conséquence, si une unité cartographique de l'étude

originale se trouve spatialement dans plusieurs PRN et / ou UPP, elle devra alors être différenciée en autant d'UCS.

En ce qui concerne l'étude grande Sologne, le dessin des polygones n'a été retouché que dans 2 cas : d'une part sur la zone de jointure des feuilles Selles s/Cher et Vierzon, et d'autre part, lors de la fusion de 2 plages cartographiques portant le même numéro



**Tableau 4** - Régions Naturelles et Unités de Pédopaysage de la carte des sols au 1/50 000 du Loir-et-Cher.**Table 4** - Natural regions and soilscape mapping units of 1:50 000 pedological map of Loir et Cher.

REGION NATURELLE	CARACTERISTIQUES	UNITE DE PEDOPAYSAGE
GLACIS MOLLEMENT VALLONE DE SOLOGNE	Vaste glacis de sédiments tertiaires, à pente générale orientée vers l'ouest, inférieure à 0,3% - Relief très peu marqué ; vallées et talwegs très peu encaissés - 3 ensembles: la Sologne Boisée, la Sologne Agricole et les vallées des Sauldre, de la Rère	Sologne boisée
		Sologne agricole
		Vallées de la Rère, de la petite Sauldre ; vallées secondaires et petites dépressions
VALLEE DU CHER	Zone large et plate, à pente très faible (< 0,1 %), inondable - alluvions récentes de texture très variable, non calcaires - hydromorphie variable conditionnée par la présence d'une nappe - cultures, prairies, friches et peupleraies.	Vallée du Cher
PLATEAU DU BOISCHAUT NORD	Plateau culminant à 160/170 m - formations limono-sableuses sur substrat d'argiles lourdes cénomaniennes, limons des plateaux et dépôts éocènes - mosaïque de sols très hydromorphes - paysage ouvert de culture céréalière dominante, vignes sur le coteau sud	Bordure nord du plateau et transition vers la vallée du Cher
		Assises calcaires en transition vers la vallée du Cher
		Vallées secondaires

#### **Etape 5 : création et caractérisation sémantique des UTS et des strates**

##### • Cartes de Brive et Châteaudun

En accord avec le Modèle DoneSol une même UTS peut être présente dans plusieurs UCS. Les profils associés à chaque type de sol sont listés, et on établit leur appartenance géographique aux PRN et aux UCS.

Les UTS sont alors créées en tenant compte, d'une part, des profils et sondages (lorsque ceux-ci sont donnés) et des descriptions générales de la notice, et d'autre part, de l'appartenance des profils à telle ou telle UCS. Leur numérotation n'a pas de signification sémantique particulière. Chaque UTS est caractérisée sémantiquement à la fois de manière globale, par les descriptions présentes dans la notice et par une synthèse des profils (données morphologiques et analytiques associées). La variabilité dans l'espace des caractéristiques de l'UTS est renseignée par la description des strates qui la composent.

Suite à la création des UTS, différents cas de figure peuvent être rencontrés qui conditionnent la création des strates :

- Il y a plusieurs profils par UTS : chaque strate est la synthèse des horizons correspondant de chaque profil
- Il n'y a qu'un profil par UTS : les données de l'horizon constituent les valeurs modales de la strate, et la variabilité (min et max) est renseignée à partir des informations contenues dans la légende et la notice, si c'est possible.

- Il n'y a pas de profil associé à l'UTS : l'UTS est caractérisée par une description qualitative synthétique, il n'y a pas de strates créées.

##### • Etude Grande Sologne - Val de Cher

Par sa structure même (à savoir, la combinaison spatiale de 10 variables), la carte de la Région Centre 1/50 000 de l'étude Grande Sologne-Val de Cher a nécessité de procéder différemment.

La création et la caractérisation des UTS et des strates ont requis, outre l'utilisation des descriptions générales et des profils contenues dans les notices, la combinaison « automatique » des 10 variables descriptives.

La méthodologie a donc comporté des opérations automatiques (combinaison de variables) et des phases d'expertise (regroupement de classes).

*Combinaison automatique de variables* : Les variables descriptives sont ordonnées selon le système taxonomique de la classification CPCS ; toutefois le pré-découpage en régions naturelles, nécessaire pour le transfert en DoneSol, a introduit une variable supplémentaire (Rnat) qui se place en amont des combinaisons (tableau 5). D'une manière générale, l'augmentation du nombre de variables combinées entraîne une augmentation importante du nombre de classes ainsi obtenues (tableau 5). En combinant toutes les variables entre elles, on obtient 314 classes (ou futures UTS) dont plus de 50 % sont à polygone unique. Il était nécessaire d'en réduire le nombre en opérant des regroupements à l'aide des variables jugées les plus pertinentes.



**Tableau 5** - Nombre de classes obtenues en fonction des combinaisons de variables pour la carte des sols au 1/50 000 du Loir-et-Cher.**Table 5** - Classes of 1:50 000 pedological map of Loir et Cher.

Combinaison	Nombre de classes	Nombre de classes à un polygone
Rnat	3	0
Rnat - NAT	45	3 (7%)
Rnat - NAT - SU	96	26 (27%)
Rnat - NAT - SU - TEX	182	90 (50%)
Rnat - NAT - SU - TEX - HYD	221	106 (48%)
Rnat - NAT - SU - TEX - HYD - PS	287	162 (57%)
Rnat - NAT - SU - TEX - HYD - PS - AL - PA - TS - PT	361	229 (64%)

*Regroupement des classes par expertise :*

- Toute classe à polygone unique est expertisée : soit les caractéristiques de la classe (ou UTS) sont suffisamment particulières dans le contexte local pour être individualisées, et l'UTS est conservée (et devient par voie de conséquence une UCS simple) ; soit la classe est réaffectée à une autre combinaison de variables très proche sémantiquement pour constituer la variabilité interne de l'UTS ainsi créée. Cette opération a permis de réduire (sans perte d'information) le nombre d'UTS de 314 à 78.

- Compte tenu du faible nombre d'informations disponibles sur la profondeur des sols, la succession et l'épaisseur des horizons, la délimitation des strates a été effectuée en combinant 3 variables Nat (type de sol), HYD (drainage naturel) et PS (profondeur d'apparition du substrat). Les résultats obtenus ont ensuite été modulés en les comparant avec les données de profils disponibles et des données externes telles que l'occupation du sol (labour, prairie...) Ainsi par exemple, pour la strate 1 (surface), en zone cultivée, la profondeur 0 - 30 cm a été retenue en l'absence de données suffisantes.

Pour chaque étude, les données sont saisies dans les tables U\_Sol et Strates.

**Etape 6 : caractérisation sémantique des UCS**

Selon le Modèle, une UCS définit l'extension spatiale d'une ou d'un ensemble d'UTS. La caractérisation sémantique des UCS se fait donc en croisant les informations issues de la création graphique des UCS et de la création et de la caractérisation sémantique des UTS.

Pour les études à 1/100 000, les profils (et les sondages quand on en dispose) sont listés en fonction de leur appartenance géographique à une UCS, permettant ainsi de savoir quelle(s) UTS compose(nt) chaque UCS. Le % de chaque UTS dans l'UCS est alors soit calculé au prorata du nombre d'observations (cas de Châteaudun), soit principalement estimé à dire d'expert (cas de Brive) à partir de ces données ponctuelles, et des informations contenues dans les notices ainsi que des données externes (géomorphologie, pentes, expositions...).

Pour l'étude Grande Sologne/Val de Cher, en l'absence d'informations ponctuelles suffisantes, le % des UTS au sein des UCS (dans le cas d'UCS complexes) a été obtenu en combinant UTS, géomorphologie, géologie et occupation du sol. En fait, nous avons suivi les auteurs des cartes en considérant qu'à l'échelle du 1/50 000, la plupart des UCS n'ont qu'un type de sol, la variabilité s'exprimant dans les caractéristiques des UTS (étape 5).

**Etape 7 : corrections topologiques**

Lorsque des polygones initialement décrits comme différents dans la carte et la notice sont regroupés au sein d'une même UTS ou d'une même UCS, il est possible que des plages cartographiques portant le même numéro d'UCS aient une limite commune. Il est alors nécessaire de fusionner ces plages, c'est le but essentiel des opérations de correction topologique.

**Etape 8 : procédures de vérification**

Une fois la saisie terminée, des procédures automatiques de vérification sont effectuées :

- des vérifications de la qualité géométrique :

Vérifications du calage géographique, de la topologie, identifiant des plages et numéros d'UC etc. (cf. Norme AFNOR X 31-560, § 6.2, septembre 2007) ;

- des vérifications sur la qualité sémantique :

Contrôle sur la structure de la base de données (requêtes réalisées pour vérifier le respect de la structure de la base de données et les oublis dans les différentes tables) ; vérification quantitative des données (présence/absence) ; analyse de cohérence des données (Norme AFNOR X31-560, § 6.2, septembre 2007).





## RÉSULTATS - DISCUSSION

### Bilan cartographique

Pour chacune des trois cartes, un bilan comparatif des objets cartographiques avant et après numérisation a été établi.

#### • Cartographies au 1/100 000 (tableaux 6 et 7)

Le découpage en Régions Naturelles, et la répartition des UCS au sein de celles-ci a aboutit à :

##### 1) Une augmentation du nombre d'UCS.

Ainsi par exemple pour Brive la Gaillarde, l'UCS 10 sur la carte d'origine (UCS simple = 1 UTS), appelée « Sol Brun Calcaire, limono-argileux, à éclats calcaires, sur calcaire hétérogène » est présente dans 2 Petites Régions Naturelles différentes : Bassin de Brive et Dordogne d'une part, et Causses de Martel et Gramat d'autre part. Par définition une même UCS ne peut se trouver dans 2 PRN différentes, l'UCS 10 a donc dû être divisée en UCS 28 et UCS 51 (numéros DoneSol).

Pour Brive, on passe ainsi de 55 UCS à l'origine à 65 UCS dans DoneSol ; pour Châteaudun, de 78 à 111.

##### 2) Une « complexification » des UCS

Dans les études de Brive-la-Gaillarde et Châteaudun, la plupart des UCS sont des unités simples (1UCS = 1UTS). Certaines UCS représentent souvent des variantes du type de sol principal et sont désignées par un numéro + une lettre, par exemple les UCS simples 34 et 34a (numéros d'origine) de la feuille de Châteaudun deviennent UTS 73 et 74 constituant l'UCS complexe 103 (numéro DoneSol).

De même, lorsque un ou des profil(s) localisé(s) dans une UCS simple (d'origine) se rattache(nt) davantage à d'autres types de sols qu'à celui de l'UCS considérée, nous avons transformé l'UCS simple en UCS complexe pour y intégrer l'UTS représentée par le ou les profils concerné(s).

Pour Brive la Gaillarde on a aboutit à 33 UCS complexes sur 65, et pour Châteaudun à 20 UCS complexes sur 111 au total.

En revanche, le nombre final d'UTS n'a guère changé, tous les types de sols ayant été listés à l'origine.

##### 3) Une réduction du nombre de profils disponibles dans la base de données

Seuls les profils complets, c'est-à-dire décrits et analysés, ont été saisis dans les tables PROFIL, HORIZON, et AFFECT\_PROFIL\_ETUDE. Les profils portés sur la carte mais non (ou trop peu renseignés) ont été éliminés.

**Tableau 6** - Bilan cartographique de la carte de Brive-la-Gaillarde à 1/100 000.

**Table 6** - Assessment for the map of Brive la Gaillarde.

Inventaire cartographique initial	→	Inventaire cartographique au format DoneSol
2 187 polygones	→	2 221 polygones
55 unités cartographiques	→	65 UCS (unité cartographique de sol) réparties dans 5 régions naturelles dont 33 UCS complexes 32 UCS simples - Plateau cristallin : 23 UCS - Bassin de Brive et de la Dordogne : 19 UCS - Causse de Martel et Gramat : 12 UCS - Limargues : 4 UCS - Vallées de la Dordogne et Corrèze : 7 UCS
47 unités cartographiques simples (ou unité typologique)	→	62 UTS (unité typologique de sol)
8 unités cartographiques complexes (ou associations de sols)		
339 profils	→	291 profils



**Tableau 7** - Bilan cartographique de la carte de Châteaudun à 1/100 000.*Table 7* - Assessment for the map of Châteaudun.

Inventaire cartographique initial	→	Inventaire cartographique au format DoneSol
<b>3 716</b> polygones	→	<b>3 697</b> polygones
<b>78</b> unités cartographiques	→	<b>111</b> UCS (unité cartographique de sol) réparties dans 5 régions naturelles dont <b>20</b> UCS complexes <b>91</b> UCS simples - Faux-Perche : 21 UCS - Beauce Chartraine : 20 UCS - Beauce Dunoise : 10 UCS - Perche : 48 UCS - Vallées : 12 UCS
<b>69</b> unités cartographiques simples (ou unité typologique)	→	<b>9</b> UTS (unité typologique de sol)
<b>9</b> unités cartographiques complexes (ou associations de sols)		
<b>350</b> profils analysées dont 11 profils décrits dans la notice	→	<b>164</b> profils

**Tableau 8** - Bilan cartographique Grande Sologne -Val de Cher à 1/50 000.*Table 8* - Assessment for the map of Grande Sologne-Val de Cher.

Inventaire cartographique initial	→	Inventaire cartographique au format DoneSol
<b>647</b> polygones	→	<b>527</b> polygones
<b>361</b> combinaisons ou unités cartographiques	→	<b>67</b> UCS (unité cartographique de sol) réparties dans 3 régions naturelles dont <b>9</b> UCS complexes <b>58</b> UCS simples - Sologne : 43 UCS - Vallée du Cher: 7 UCS - Boischaud nord: 17 UCS
- <b>229</b> combinaisons à 1 polygone (63 %)		
- <b>77</b> combinaisons à 2 polygones (22 %)		
- <b>55</b> combinaisons à plus de 2 polygones (15 %)		
<b>25</b> types de sol ou unités pédologiques	→	<b>78</b> UTS (Unités >Typologiques de Sol)
<b>35</b> profils	→	<b>35</b> profils





Les profils incomplets (seulement décrits ou analysés, ou non localisés) n'ont pas été saisis, mais utilisés pour caractériser les UTS et les strates.

#### • Cartographie au 1/50 000 (tableau 8)

Pour la base de données Grande Sologne - Val de Cher, le regroupement des combinaisons de variables, et leur redistribution au sein des PRN, ainsi que la redéfinition des UTS (NAT+ autres variables) ont abouti à une réduction très importante du nombre d'unités cartographiques, mais à la création d'un nombre important d'UTS. Ceci traduit, d'une part, l'appartenance d'un même type de sol dans la carte initiale à différentes régions naturelles, et d'autre part, la variabilité des propriétés pédologiques exprimée sur cette carte.

### Les opérations de traitement de l'information pédologique

Globalement, la mise au format DoneSol d'une étude de cartographie pédologique nécessite un travail d'expertise qui dépend de nombreux paramètres comme la complexité de la zone étudiée, le nombre d'auteurs ayant participé à sa réalisation, le cadre conceptuel utilisé pour réaliser la carte en regard du MOS d'I.G.C.S. ...

Dans le détail, il est possible de distinguer à chaque étape du travail (figure 4) des opérations automatiques (ou automatisables) et des phases nécessitant une expertise plus ou moins poussée.

#### Les étapes automatisables

Les opérations automatisables sont celles qui ne nécessitent pas de connaissances pédologiques particulières, ni d'interprétation de l'information à traiter. Elles peuvent être pour partie ou entièrement automatisables au moyen de procédures ou requêtes informatiques. Cela concerne l'aspect graphique (étapes 2, 4, 7 de la figure 4), la saisie et les opérations de contrôle (étape 8 de la figure 4).

#### Les étapes faisant appel à l'expertise

Ce sont les étapes qui nécessitent des connaissances spécifiques en pédologie et/ou en cartographie. Elles ne peuvent être qu'en partie automatisées. Les phases de la numérisation ayant nécessité le plus d'expertise sont la définition des PRN (étape 1), la caractérisation des profils (étape 3), la création des UTS et des strates (étape 5), la caractérisation sémantiques des UCS (étape 6).

#### • Définition des PRN (1)

On a vu que dans le MOS IGCS, l'espace cartographié est découpé en PRN dans lesquelles sont réparties les UCS. La définition des PRN qui intègre des données caractérisant le milieu physique et l'occupation du sol (liée aux activités humaines) a reposé entièrement sur l'expertise. Cette étape, reste sans doute l'une des plus « délicates » du processus de numérisation. Les travaux de

recherche en cartographie numérique pourront sans doute à terme aider à une détermination plus quantitative de ces entités.

#### • Création des UTS et des Strates (5)

C'est sans doute l'étape qui demande le plus d'expertise car le maître d'ouvrage doit pouvoir réaliser, pour chaque UTS, une synthèse des données contenues dans la légende et la notice. Pour créer les strates, il doit associer les horizons pédologiquement similaires de plusieurs profils, ainsi que les données de sondages lorsqu'on en dispose.

Dans le cas de l'étude à 1/50 000 de la Région Centre, les UTS et les strates ont été créées par une approche mixte utilisant la combinaison de variables et l'interprétation du pédologue.

#### • Caractérisation des profils (3)

L'essentiel des études à numériser dans le cadre du projet CPF ayant été réalisé antérieurement aux années 90, les profils de sols sont généralement référencés en classification CPCS 1967. La différence de concepts entre CPCS 1967 et RP 1995 (AFES-INRA, 1995) - nouvelle classification recommandée dans DoneSol - ne permet pas un transfert automatique de l'une vers l'autre. Déterminer ou confirmer une référence et établir une synthèse des profils nécessite donc de passer par une phase d'expertise.

En ce qui concerne les descriptions qualitatives et analytiques des horizons, deux cas ont été rencontrés :

- les variables ont été décrites ou codées de façon homogène (mêmes classes de valeurs, mêmes unités de mesures, proches de celles de DoneSol), et présentées dans le même ordre : des transferts automatiques dans les tables PROF et HORZ peuvent être opérés. C'est globalement le cas pour Brive-la-Gaillarde et Châteaudun ;

- les classes de variables sont trop différentes de celles des tables DoneSol, ou bien ne sont pas renseignées dans ces tables, l'interprétation de l'expert devient obligatoire. C'est le cas de l'étude à 1/50 000 en Région Centre, avec par exemple : les variables Intensité de la stagnation d'eau en 3 classes contre 8 en DoneSol, la pierrosité en 2 valeurs (< 25 % et > 25 %) ; ou bien la variable « texture du substrat » renseignée dans la base région Centre mais pas directement renseignée dans DoneSol.

### Estimation du temps

Le temps nécessaire à la mise au format DoneSol d'une étude pédologique est l'un des éléments importants qui participe à la décision de mettre en œuvre ou non les différentes opérations présentées précédemment. Le tableau 9 estime en jours le temps de travail nécessaire à la réalisation de chaque étape pour les 3 études.

On constate que le temps consacré est, proportionnellement à la surface de l'étude, très supérieur dans le cas de l'étude à 1/50 000. Cela peut sembler a priori contradictoire car à cette



**Tableau 9** - Estimation de la durée globale et des coûts par numérisation.**Table 9** - Total estimated time and cost for numerising a pedological study.

Etapas	Commentaires	BRIVE LA GAILLARDE 224 000 ha	CHÂTEAUDUN 215 000 ha	GRANDE SOLOGNE 50 000 ha
		temps en jours		
(a) Préparation de la numérisation	- bibliographie - liste des jeux de données nécessaires - collecte des données disponibles	10	10	4
(2) Digitalisation des cartes de sols	- dessin à l'encre noire sur support stable : 5 jd - vectorisation des polygones : 5 jours - affectation d'un numéro à chaque polygone 5 j.	15	15	Disponible sous forme numérique (IGN)
(3) Création du système informatique	- création du projet sur logiciel SIG - création d'un dossier de SGBD - importation des couches environnementales	1	1	1
(4) 1 délimitation et définition des Petites Régions Naturelles et Pédopaysages	- Répartition des plages cartographiques au sein des PRN	5	5	3
(5) 2 Profils : création graphique		3	3	1
(6) 3 Profils et horizons : caractérisation sémantique		18	11	5
(7) 4 UCS : création graphique	- Numérotation, vérification - assemblage des coupures pour RC	2	2	1
(8) 5 UTS et Strates : création et caractérisation sémantique	- essais et développements méthodologiques de croisement de variables - expertise + opérations automatiques	31	40	20 + 30
(9) 6 UCS : caractérisation sémantique, numérotation + affectation UTS + assemblage des coupures pour RC		8	8	5 2
(10) 7 Corrections topologiques		2	2	1
(11) 8 Saisie DoneSol, procédures de vérification		60	50	15
Total jours		150	147	88
Temps estimé en mois (y compris congés)		9	8,6	5,2
Coût par ha (sur la base d'un coût salarial niveau ingénieur d'études INRA de 2 900 € / mois)		<b>0,12</b>	<b>0,11</b>	<b>0,30</b>



échelle les UCS sont généralement moins complexes qu'à l'échelle du 1/100 000.

L'échelle ne semble donc pas avoir été déterminante dans notre essai par rapport à la structure et à l'organisation des données, très différentes dans les 2 types d'études :

#### *La structure des données*

- intégratrices dans le cas des 1/100 000 et plus proches des concepts de DoneSol, bien que la synthèse des informations soit faite sur d'autres bases (taxonomiques plutôt que morpho-pédopaysagiques) dans les cas de Brive et Châteaudun ;
- analytiques et taxonomiques pour le 1/50 000.

#### *L'organisation des données*

- assez proches des tables DoneSol pour le 1/100 000,
- regroupées en classes (qu'il est nécessaire « d'éclater »), ou non directement renseignées dans DoneSol pour le 1/50 000 de la région Centre.

Bien évidemment, la superficie de la zone considérée, la complexité du milieu, mais aussi l'échelle du rendu peuvent également intervenir sur la durée du travail.

Le coût de la numérisation des cartes pédologiques existantes est directement proportionnel au temps de travail nécessaire, les coûts autres (matériel, analyses...) étant pratiquement inexistantes. Le *tableau 9* fournit une estimation du coût de la numérisation des trois études sur la base d'un coût salarial de 2 900 € par mois (Ingénieur d'études INRA). A titre indicatif, le coût du levé et de la mise en forme d'une carte pédologique à 1/100 000 est estimé à 3 à 3,5 € par hectare. Ainsi, comparés au coût d'acquisition des données initiales, les coûts estimés de telles opérations restent modérés.

## CONCLUSION

La nécessité de sauvegarder le capital de connaissances acquises sur les sols depuis plus de 30 ans, de l'organiser en bases de données harmonisées, plus complètes et plus aisément utilisables que les cartes traditionnelles, constitue un des axes majeurs du programme Connaissance Pédologique de la France.

L'utilisation de DoneSol, modèle multi-échelles de structuration des données, assure la cohérence du programme et son étroite relation avec les autres programmes d'IGCS. En revanche, dans la mesure où les données à numériser n'ont pas été, à l'origine, organisées selon les concepts de ce modèle, il est très difficile d'automatiser complètement la procédure. L'expertise reste prépondérante (sinon exclusive) dans le découpage en Petites Régions Naturelles, clé d'entrée du MOS, et dans la définition des Unités Typologiques de Sols et de leurs Strates, en particulier.

Les expériences présentées montrent que, par rapport aux études originelles, la mise au format DoneSol aboutit à

- une augmentation du nombre d'Unités Cartographiques de Sols et à leur « complexification » ; au final, la variabilité des sols dans l'espace est ainsi mieux exprimée ;

- la part de l'expertise (et donc le temps nécessaire) est plus dépendante de la structure et de l'organisation des données initiales que de l'échelle de réalisation des études. L'expertise doit permettre d'intégrer d'une façon ou d'une autre les données présentes dans l'étude mais non prévues en tant que telles dans les tables DoneSol, afin de perdre le minimum d'informations.

Il est à noter que pour la plupart des études, le maître d'ouvrage assurant la numérisation de la carte n'est pas l'auteur de cette carte et manque souvent de la connaissance « de terrain » de la zone cartographiée. Il est donc indispensable qu'il ait des connaissances générales en pédologie et cartographie pour pouvoir interpréter les données à numériser.

L'objectif de ce travail étant de tester une méthodologie ainsi qu'une estimation du temps nécessaire aux différentes opérations de numérisation, nous avons privilégié plusieurs aspects techniques permettant d'assurer, de notre point de vue, la reproductibilité, l'adaptabilité et la simplicité de mise en œuvre de telles opérations.

Les durées globales et les coûts estimés par numérisation restent assez modérés rapportés à l'investissement qu'ont représenté les inventaires<sup>5</sup> réalisés aux échelles moyennes (1/100 000 et 1/50 000) sur l'ensemble du territoire (0,12 à 0,30 € ha<sup>-1</sup> contre 3 à 3,5 € ha<sup>-1</sup>). Ces résultats confirment l'intérêt de valoriser la masse de connaissances acquises depuis 40 ans.

Il faut noter que depuis plusieurs années le MOS est systématiquement utilisé pour les études en cours, qu'il s'agisse d'inventaires cartographiques ou de cartes de sols destinées à des applications thématiques, ce qui facilitera l'archivage, la consultation, la gestion et la valorisation des données sur les sols.

## REMERCIEMENTS

Le programme Connaissance Pédologique de la France est un des programmes financés dans le cadre du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol.

<sup>5</sup> plus de 6 millions d'hectares pour le seul programme CPF





## BIBLIOGRAPHIE

- AFES-INRA, 1995 - Référentiel Pédologique. INRA, Paris
- AFNOR. Norme NF X 31 - 560, Qualité des sols - Cartographie des sols appliquée à toutes les échelles. Acquisition et gestion informatique de données pédologiques en vue de leur utilisation en cartographie des sols. Septembre 2007.
- Arrouays D., Hardy R., Schebelen., Le Bas C., Eimberck M., Roque J., Grolleau E., Pelletier A., Doux J., Lehmann S., Saby N., Kling D., Jamagne M., Rat D., Stengel P., 2004 - Le programme Inventaire Gestion et Conservation des Sols de France. *Etude et Gestion des Sols*, 11, 3, pp. 187-197
- Baize D., 1993 - Petites Régions Naturelles et « Paysages Pédologiques » de l'Yonne - INRA Edition, 191 p.
- Bornand M., Arrouays D., Baize D., Jamagne M., 1989 - Cadre méthodologique d'une cartographie régionale des sols à l'échelle du 1/250 000. *Science du Sol*, 27, 1, pp. 17-20
- Chrétien J., King D., Hardy R., Meunier D., 1993 - Essai de modélisation de l'organisation spatiale des sols d'une région. Application aux plateaux calcaires bourguignons. *Science du Sol*, 31, 3, pp. 171-191
- Gaultier J-P., Legros J-P., Bornand M., King D., Favrot J-C., Hardy R., 1993) - L'organisation et la gestion des données pédologiques spatialisées : le projet DoneSol. *Revue de Géomatique*, 3, pp. 235-253.
- Girard M-C., Walter C., Rémy J-C., Berthelin J., Morel J-L., 2005 - Sols et Environnement - Dunod, 816 p.
- Grolleau E., Bargeot L., Chafchafi A., Hardy R., Doux J., Beaudou A., Le Martret T-H., Lacassin J-Cl., Fort J-L., Falipou P., Arrouays D., 2004 - Le système d'information national sur les sols : DoneSol et les outils associés. *Etude et Gestion des Sols*, 11, 3, pp. 255-269
- Jamagne M., 1993 - Evolution dans les conceptions de la cartographie des sols. *Pédologie*, XLIII-1, pp. 59-115
- Jamagne M., Bornand M., Hardy R., 1989 - La carte pédologique de France à 1/100 000. *Science du Sol*, 27, 1, pp. 21-24
- Jamagne M., King D., Girard M.C., Hardy R., 1993 - Quelques conceptions actuelles sur l'analyse spatiale en pédologie. *Science du Sol*, 31, 3, pp. 141-169
- Jamagne M., King D., 2003 - The Current French Approach to a Soilscape Typology. *Soil Classification - A Global Desk Reference*, CRC Press. Chapter 13, pp. 157-178
- Jamagne M., Boulaine J., 2004 - Quelques données sur les activités du Service d'Etude des Sols et de la Carte Pédologique de France. *Etude et Gestion des Sols*, 11, 3, pp. 353-366
- King D., Daroussin J., Arrouays D., 1989 - Analyse cartographique et système d'information géographique en pédologie. *Science du Sol*, 27, 1, pp. 89-92
- King D., Saby N. (2001) - Analyse de la représentativité des cartes pédologiques au 1/100 000 pour la connaissance des sols du territoire français. *Etude et Gestion des Sols*, 8, 4, pp. 247-267
- Le Bas C., Barthes S., Boutefoy I., Fort J-L., Scheurer O., Darracq S., Lacassin J-C., Sauter J., Schwartz C., 2004 - Utilisation des données sols d'I.G.C.S. en France : un état des lieux. *Etude et Gestion des Sols*, 11, 3, pp. 299-305
- Le Bas C. et Schnebelen N., 2006 - Utilisation des données sols d'I.G.C.S. en France. *Etude et Gestion des Sols*, Volume 13, Numéro 3, pp.237 - 246.
- Legros J.P., 1996 - Cartographie des sols - Presses polytechniques et universitaires romandes, 321 p.
- Tricart J., 1978 - Géomorphologie applicable - Collection de géomorphologie applicable, Masson, 204 p.
- Dictionnaire de données DoneSol - dictionnaire de données, version téléchargeable sur le site du Gissol (<http://www.gissol.fr/outil/DoneSol/DoneSol.php>)
- Carte Pédologique de France à 1/100000 - Feuille de Brive la Gaillarde J18 . P Bonfils, 1976. Carte et notice explicative, 135 p.
- Carte Pédologique de France à 1/100000 - Feuille de Châteaudun I9. M. Isambert, 1984, carte et notice explicative, 259 p.
- Carte des sols de la Région Centre au 1/50000 - Chambre d'Agriculture du Cher - Feuille d'Aubigny sur Nère 2322. J. Dupont et J. Servant, 1984. Carte et notice explicative, 127 p.
- Carte des sols de la Région Centre au 1/50000 - Chambre d'Agriculture du Cher - Feuille de Vierzon 2223. J. Dupont et J. Servant, 1985. Carte et notice explicative, 237 p.
- Carte des sols de la Région Centre au 1/50000 - Chambre d'Agriculture de l'Indre - Feuille de Selles-sur-Cher 2123. M. Lafréchoux et collaborateurs, 1983. Carte et notice explicative 200 p.