

---

# Méthodologie pour l'informatisation et l'actualisation d'une carte pédologique ancienne publiée au 1/100 000

## Exemple de la coupure d'Angoulême (France)

F. Lelu<sub>(1)</sub>, A. C. Richer-de-Forges<sub>(1)</sub>, G. Girot<sub>(1, 2)</sub>, C. Perrier<sub>(1)</sub>, E. Tientcheu<sub>(1)</sub> et D. Arrouays<sub>(1)</sub>

- 1) INRA, unité InfoSol, US 1106, F - 45075 Orléans Cedex 2, France
- 2) INRA, unité de Recherche Sols, UR 0272, F - 45075 Orléans Cedex 2, France

\* : Auteur correspondant : Anne.Richer-de-Forges@orleans.inra.fr

### RÉSUMÉ

Le programme de cartographie des sols du territoire français à moyennes échelles (« Connaissance Pédologique de la France » : CPF) lancé en 1968, constitue un volet du programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS) du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (GIS Sol). Il a permis de couvrir environ 24 % du territoire par la cartographie au 1/100 000 et environ 18 % au 1/50 000 (Richer-de-Forges *et al.*, 2014). Cependant, depuis les années 90, la priorité financière du GIS Sol a été donnée au volet de cartographie de la France au 1/250 000 : le programme des Référentiels Régionaux Pédologiques (RRP). L'informatisation des cartes au 1/100 000 majoritairement levées dans la période 1970 - 2000 présente un enjeu important pour sauvegarder les données acquises et les rendre accessibles.

Cet article présente une méthode de numérisation des cartes pédologiques anciennes qui comprend : la numérisation des cartes pédologiques et la création d'une base de données sémantiques sous le modèle DoneSol. La mise en place de cette base de données a montré qu'il y a des difficultés à retranscrire les informations anciennes en raison de quantités et de qualités hétérogènes. Un retour sur le terrain s'est alors montré indispensable pour pallier ces problèmes. Doit-on alors actualiser les données anciennes avec ces informations récentes ou la mise en base de données doit-elle correspondre uniquement aux données obtenues au moment de la réalisation de la carte ? Les deux approches nous semblent souhaitables : 1) une archive qui donne un « instantané » d'un état passé, 2) une base actualisée qui rend compte de l'évolution de cet état.

### Mots clés

Cartographie, sol, CPF, inventaire, DoneSol, Angoulême, informatisation, actualisation, France, Référentiel Pédologique.

**SUMMARY****RESCUING AND UPDATING AN OLD SOIL MAP PUBLISHED AT 1:100,000 SCALE****Example of Angoulême pedological map (France)**

The French mid-scales soil mapping programme (« *Connaissance Pédologique de la France* »: CPF) began in 1968. It is a component of the French Soil mapping and Inventory program (IGCS) managed by the GIS Sol. At present it covers 24% of mainland France at 1:100,000 scale and 18% of mainland at 1:50,000 scale (Richer-de-Forges and al., 2014). However, since the 90s, the GIS Sol financial priorities have been given to the other component of French soil mapping at 1:250,000 scale. The digitalization of maps at 1:100,000 scale, mostly made during the period 1970-2000, remains an important objective to rescue the old data and make it available to users.

In this framework this paper presents a method which includes digitizing the old soil map and creating a new database on DoneSol model. The limit of this method is the low quantity and the heterogeneous quality of old data available and the difficulty of translating or using them. Going back to the field appeared to be an interesting option to enhance the quality of the database but led to an important issue: should we update the old data with the new data or should we fix the information to the ancient date? We believe both should be done.

**Key-words**

Soil, mapping, data rescuing, updating old soil information, Angoulême, France.

**RESUMEN****METODOLOGÍA PARA LA INFORMATIZACIÓN Y LA ACTUALIZACIÓN DE UN ANTIGUO MAPA PEDOLÓGICO PUBLICADO AL 1/100 000****Ejemplo de Angulema (Francia)**

El programa de cartografía de suelos del territorio francés a mediana escala (*Conocimiento Pedológico de Francia*: CPF) empezado en 1968, constituye una parte del programa *Inventario, Gestión y Conservación de Suelos (IGCS)* de la *Agrupación de Interés Científico Suelo (GIS Sol)*. Permitted cubrir aproximadamente 24 % del territorio por la cartografía al 1/100 000 et aproximadamente 18 % al 1/50 000 (Richer-de-Forges et al., 2014). Sin embargo, desde los años 90, la prioridad financiera se dio a la parte de cartografía de Francia al 1/250 000: el programa de los *Referenciales Regionales Pedológicos (RRP)*. La informatización de los mapas al 1/100 000 mayoritariamente levantados durante el periodo 1970 - 2000 presenta un desafío importante para salvaguardar los datos adquiridos y devolverlos accesibles.

Este artículo presenta un método de numerización de mapas pedológicos antiguos que comprende: la numerización de los mapas pedológicos y la creación de una base de datos semánticos con el modelo DoneSol. El desarrollo de esta base de datos mostró que existen dificultades para retranscribir las informaciones antiguas debido a cantidades y calidades heterogéneas. Se necesita, entonces, un retorno indispensable en el terreno para paliar estos problemas. ¿Debe-se entonces actualizar los datos antiguos con estas informaciones recientes o poner en la base únicamente los datos obtenidos al momento de la realización del mapa? Los dos enfoques nos parecen deseables: 1) un archivo que da un "instantáneo" de un estado pasado, 2) una base actualizada que da cuenta de la evolución de este estado.

**Palabras clave**

Cartografía, suelo, CPF, inventario, DoneSol, Angulema, informatización, actualización, Francia, Referencial Pedológico.

Le programme Connaissance Pédologique de la France (CPF) du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (GIS Sol) est un programme de cartographie des sols du territoire à moyennes échelles (de 1/50 000 à 1/100 000). Il a pour objectif de collecter les connaissances scientifiques sur la diversité et la distribution des sols en France (Richer-de-Forges *et al.*, 2014). Initié en 1968, il constitue un volet du programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS). Depuis les années 90, le programme Référentiel Régional Pédologique au 1/250 000 est devenu le programme de cartographie prioritaire du GIS Sol (d'après Arrouays *et al.*, 2004 ; dans Eimberk et Joly, 2008). Ainsi, la majeure partie des cartes au 1/100 000 ont été levées dans la période 1970 - 2000. L'informatisation des cartes anciennes est donc un enjeu important pour sauvegarder les données acquises et les rendre facilement accessibles en format numérique. Cette informatisation comprend la numérisation de la carte graphique mais également la création d'une base de données sémantiques sous le modèle de données « DoneSol ».

L'objectif de cet article est de proposer une méthode pour la numérisation des cartes pédologiques anciennes publiées au 1/100 000. Il sera étayé par l'exemple de la numérisation de la carte d'Angoulême (*figure 1*) au 1/100 000, publiée en 1975 par Callot.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

### Réalisation d'une couche graphique

Dans l'optique de créer une couche graphique utilisable avec un logiciel SIG, un protocole d'analyse et de traitement a été mis en place : digitalisation de la carte papier ou du calque stable s'il existe, géoréférencement, digitalisation, correction et labellisation des polygones créés avec les numéros d'UCS (Unités Cartographiques de Sols). Le shapefile ainsi obtenu est donc une copie numérique de la carte papier publiée aux erreurs de digitalisation près. Dans leurs conceptions classiques, les cartes anciennes de sols au 1/100 000 présentaient un découpage de la couverture pédologique de la zone d'étude basé sur l'évolution pédogénétique des sols ainsi que sur leurs matériaux parentaux, l'intensité de l'hydromorphie et d'autres variables secondaires (granulométrie, éléments grossiers...). Ce découpage des classes de sols suivait la classification française adoptée par la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (C.P.C.S., 1967).

Les cartes pédologiques actuelles sont organisées selon les Petites Régions Naturelles (PRN) et les UCS sont numérotées par PRN. Les PRN sont définies par une association d'unités pédopaysagères pour lesquelles les constituants environnementaux ne sont pas homogènes mais forment un « motif » dont l'aspect est le même d'un

bout à l'autre des régions (Legros, 1996). Ainsi, il est nécessaire de restructurer la carte ancienne construite sur des critères de pédogénèse des sols en carte d'UCS regroupées par PRN. Celles-ci sont déterminées à partir des caractéristiques lithologiques, géomorphologiques et d'occupation des sols. Il est également possible de s'appuyer sur les PRN déjà existantes dans les cartes pédologiques multi-échelles environnantes lorsqu'elles sont disponibles. Les UCS sont redéfinies par PRN et requièrent de créer une nouvelle nomenclature.

## Réalisation de la base sémantique en format DoneSol

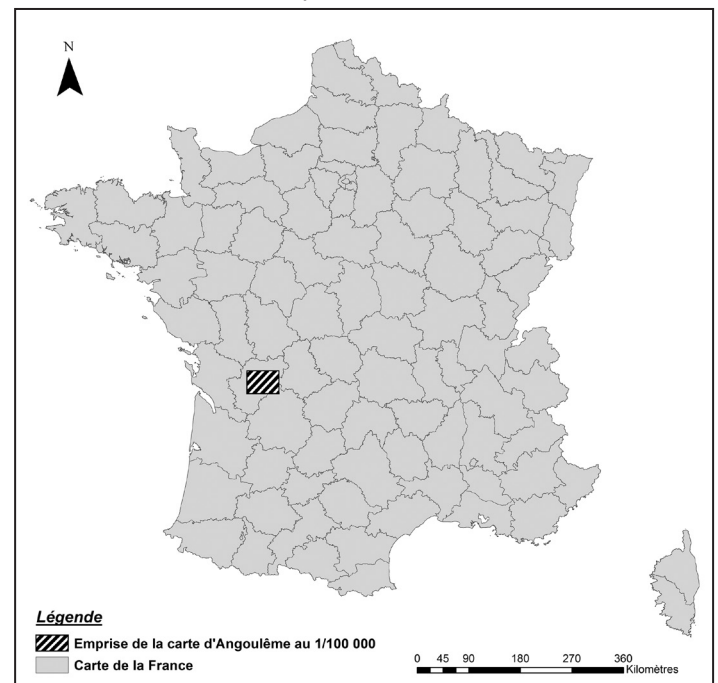
### DoneSol

La base sémantique est créée à l'aide du modèle de données national « DoneSol » qui permet de stocker des données pédologiques spatialisées. Dans cette base de données relationnelle, plusieurs tables reliées entre elles permettent une description de l'organisation et de la complexité de la couverture pédologique, depuis les points d'observations (données ponctuelles) jusqu'à l'unité pédopaysagère (données surfaciques) (Grolleau *et al.*, 2004) :

- les observations de sols sur le terrain (sous la forme de sondages à la tarière, de coupes ou de fosses pédologiques), dites

**Figure 1** - Carte de la localisation de l'emprise de la carte d'Angoulême en France.

**Figure 1** - Location of the study.



ponctuelles, comprennent environ 90 variables différentes sur une fosse et environ 20 variables sur un sondage. Des résultats d'analyses physico-chimiques réalisées sur les prélèvements de terrain sont associés à ces données. Ces données ponctuelles servent de fondement à la création de la base de données.

- les données surfaciques issues des données ponctuelles sont stockées dans les tables correspondant aux UCS, aux UTS (Unités Typologiques de Sols) et aux Strates de la base de données (InfoSol, 2013 ; Richer-de-Forges *et al.*, 2014)
- la couche graphique contient les numéros des UCS permettant de faire le lien avec la base sémantique.

### Informatisation des données ponctuelles

La première étape pour créer une base sémantique consiste en un état des lieux de la présence de données ponctuelles sur la surface couverte par l'emprise de la coupure. Il est nécessaire d'intégrer tous les profils de l'étude dans DoneSol afin de pouvoir interroger ces données facilement.

Certains profils de l'étude sont présentés et décrits dans la notice explicative publiée avec la carte pédologique. Cette notice détaille chaque UTS de la carte avec leurs profils considérés comme les plus représentatifs par l'auteur et décrit leurs caractéristiques pédologiques, géologiques et physico-chimiques. Il est rare que toutes les données brutes de terrain soient ainsi retrouvées dans la notice et que le rattachement des profils aux UTS soit complet. Les profils non rattachés à une UTS mais présents dans la notice sont réaffectés à une UTS selon leurs propriétés et l'UCS dans laquelle ils se trouvent. Il faut également recourir aux archives pour récupérer d'éventuels profils supplémentaires ou élargir la zone de recherche aux études limitrophes afin d'identifier des UTS strictement identiques et d'obtenir ainsi plus d'informations sur les UTS de la carte.

### Informatisation des données surfaciques

Les données surfaciques sont créées à partir de la carte pédologique, des informations apportées par la notice explicative et des données ponctuelles. Tout d'abord, les UCS sont issues des polygones présents sur la carte pédologique et reclassés par PRN (voir ci-dessus). Les informations contenues dans les UCS sont apportées par la description des classes de sols de la notice explicative. La notice permet également de créer les UTS et les strates dans la base de données. Les strates sont enrichies grâce aux informations contenues dans les données ponctuelles. Ces enrichissements concernent à la fois les valeurs minimales, modales et maximales des variables quantitatives ainsi que les valeurs principales, secondaires et minimales des variables qualitatives constituant les strates. Les bases de données des études limitrophes peuvent servir d'appui pour créer et compléter les différentes informations surfaciques de la base sémantique.

## Elaboration de la phase terrain

L'élaboration d'une base sémantique à partir de données anciennes peut entraîner des incohérences d'interprétations des informations données par la carte et sa notice en lien avec : (i) l'impossibilité de contacter l'auteur de la carte et (ii) l'hétérogénéité de la qualité des données disponibles (liée à des auteurs de profils différents et à la présence d'analyses plus ou moins complètes) ainsi qu'à leurs faibles quantités. Un retour sur le terrain est alors parfois indispensable pour pallier ces problèmes. En effet, dans ce cas, il est possible que toutes les données ponctuelles utilisées pour la réalisation de la carte ne soient pas disponibles (en fonction de la date de publication, des archives ont pu être perdues avant d'avoir pu être sauvegardées dans DoneSol).

Cette phase de terrain a pour première vocation de compléter les UCS où les UTS ne présentent pas ou peu de profils pour les caractériser. Ainsi, 149 sondages ont été réalisés et ont permis d'enrichir les données déjà présentes en rattachant les sondages aux UTS correspondantes grâce à la localisation géographique du sondage, aux descriptions de sols faites sur le terrain et aux résultats d'analyses chimiques réalisées sur les échantillons de sols. Elle permet ainsi d'enrichir et d'affiner la base de données et de vérifier la concordance entre types de sols prédits et types de sols observés. Un autre objectif est de valider les limites des PRN créées, et ce particulièrement en ce qui concerne des délimitations jugées comme incertaines. Cette validation s'appuie sur une analyse *in situ* du paysage. Enfin, elle a pour vocation de confirmer la présence de types de sols à particularité régionale (*tableau 1*). En effet, contrairement à un échantillonnage probabiliste, notre stratégie se concentre sur certaines parties de la zone d'étude qui nous intéressent.

## RÉSULTATS

### Couche graphique

La couche graphique issue de la numérisation et du traitement d'image de la carte publiée d'Angoulême est constituée de 1 289 polygones pour 83 UCS. Les surfaces des polygones vont de 0.2 ha à 10 095 ha pour une moyenne de 174 ha. Dans le détail (*tableau 2 et figure 2*), les sols calcimagnésiques et les associations de sols (association de sols calcimagnésiques, de sols calcimagnésiques et fersiallitiques et de sols calcimagnésiques et brunifiés) sont les plus présents sur la carte que ce soit en nombre de polygones ou en surface (296 et 273 polygones pour 58 360 et 46 934 ha respectivement). Les sols brunifiés présentent peu de polygones (37 polygones) mais de tailles conséquentes puisqu'ils représentent la quatrième classe de sol en termes de surface. A l'inverse, les sols peu évolués d'apport alluvial présentent la troisième abondance

**Tableau 1** - Tableau des types de sols recherchés et de leurs caractéristiques pédologiques, physiques et chimiques permettant de les identifier.

**Table 1** - Soil types and their classification criteria.

Type de sols recherchés	Séquence d'horizon	Caractéristiques physiques	Caractéristiques analytiques
Sols fersiallitiques (FERSIALSOLS)	A/FS/C	Couleur rouge	Riche en Fe <sub>libre</sub>
Sols lessivés (LUVISOLS)	A/E/BT/C	Différenciation texturale	Indice de différenciation texturale entre l'horizon E et l'horizon BT
Sols bruns (BRUNISOLS)	A/S/C	Pas d'effervescence à l'HCl Faible différenciation texturale	∅ de particularité
Sols calcaires (RENDOSOLS OU CALCOSOLS)	Aca/(Sca)/Cca	Effervescence à l'HCl	Riche en Calcaire total, en Ca <sup>2+</sup> et en Mg <sup>2+</sup>
Sols calciques (RENDISOLS OU CALCISOLS)	Aci/(Sci)/Cci	Pas d'effervescence à l'HCl Présence de calcaire	Saturé en Ca <sup>2+</sup>
Sols histiques (HISTOSOLS)	(A)/H/(M,R,D)	Couleur noire	Riche en MO CEC élevée

**Tableau 2** - Répartition du nombre de polygones et des surfaces de la base graphique par types de sols de la carte d'Angoulême au 1/100 000.

**Table 2** - Number of mapping polygons and area for the main soil types encountered in the study area.

Ensemble de types de sols	Nombre de polygones	Surface (en ha)	Surface moyenne (en ha)
Sols calcimagnésiques	296	58 360	197
Associations de sols	273	46 934	172
Sols peu évolués d'apport alluvial	253	19 208	76
Sols lessivés	190	36 132	190
Sols fersiallitiques	120	17 196	143
Sols de pente	111	8 506	77
Sols brunifiés	37	35 905	970

de polygones mais sont l'une des plus faibles surfaces. Les sols lessivés, fersiallitiques et de pente présentent un nombre de polygones moyen compris entre 100 et 200, mais des surfaces très différentes : très faibles pour les sols de pente, similaires à celles des sols peu évolués pour les sols fersiallitiques et similaires à celles des sols brunifiés pour les sols lessivés.

## Base sémantique

### Données ponctuelles

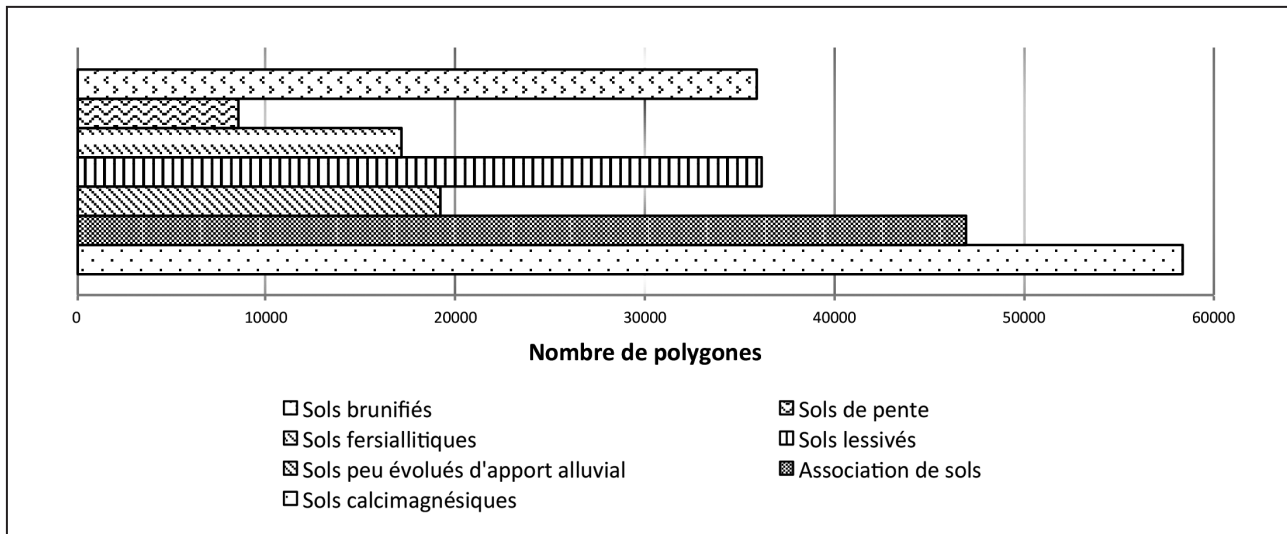
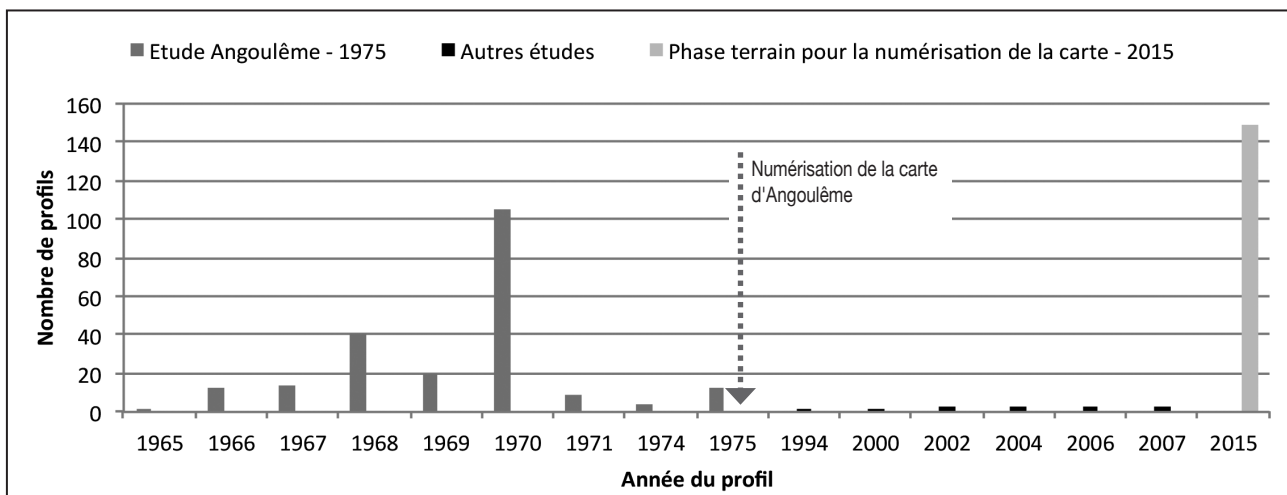
Avant la phase de terrain, les données ponctuelles étaient composées de 233 profils dont 219 provenant spécifiquement de l'étude d'origine de la carte d'Angoulême et 14 issus d'autres études réalisées dans l'emprise de la carte (figure 3). La majorité

des profils ont été réalisés entre 1965 et 1975. La phase terrain conduite en 2015 a permis de rajouter 149 observations ponctuelles analysées.

### Données surfaciques

La base sémantique se fonde sur la division de la carte pédologique d'Angoulême en 9 Petites Régions Naturelles avec (figure 4) :

- à l'Est les sols des « Collines et Plateaux des Massifs Anciens (CPMA) » développés sur les roches cristallines et cristallophylliennes pour la plupart migmatisées (granites, granulites, grès et embréchites) du Massif Central ;
- sur une bande centrale Nord-Sud, les sols des « Marches du Seuil du Poitou (LMSP) » et des « Paysages vallonnés Karstiques (PVK) » développés sur des calcaires durs du Jurassique moyen

**Figure 2** - Diagramme du nombre de polygones par types de sols de la carte d'Angoulême au 1/100 000.**Figure 2** - Number of polygons per soil type.**Figure 3** - Répartition des profils utilisés pour la carte d'Angoulême au 1/100 000 en fonction de leurs dates de réalisation.**Figure 3** - Number of soil profiles per year of sampling.

et supérieur recouverts d'une couche plus ou moins épaisse d'Argile du *Sidérolithique* ;

- sur une toute petite partie du Sud de la carte, les sols des « Terres de Doucins (TD) » développés sur des dépôts détritiques généralement sableux du *Miocène* appelés Sables et Argiles du Périgord ;
- sur toute la partie Ouest, les sols des « Terres de Groies de l'Angoumois (TGA) », des « Terres de Groies de la limite Angoumois - Cognacais (TGAC) » et des « Terres de Champagne de l'Angoumois - Montmorélien (TCAM) » reposant sur des calcaires du Jurassique supérieur et du Crétacé fréquemment couvert d'Argile de décalcification ;

- enfin, les sols de la « Plaine alluviale de la Charente aval (PAC) » et des « Vallées alluviales de La Charente, de la Vienne et de leurs affluents (VCV) » développés sur des alluvions et terrasses de l'*Holocène*.

La base sémantique est constituée de 171 UCS réparties sur l'ensemble des 9 Petites Régions Naturelles (*tableau 3*) avec un maximum de 30 UCS pour la région des PVK et un minimum de 7 UCS pour la région TD. Les autres régions naturelles présentent entre 13 et 24 UCS.

La base sémantique est également composée de 185 UTS pour 571 strates soit une moyenne d'environ 3 strates/UTS. Ces strates présentent comme données qualitatives principales (*ta-*



bleau 4) l'abondance des taches d'oxydation ou de réduction, la texture, l'effervescence, la couleur de la strate, l'abondance de matière organique et le type d'éléments grossiers. Les données quantitatives (tableau 4) sont essentiellement constituées de la granulométrie (argile, limon, sable), de l'abondance des éléments grossiers, du pH et des teneurs en cations échangeables ( $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ).

La différence observée entre le nombre de strates renseignées et le nombre de strates total est liée à l'impossibilité de compléter ces variables pour les strates R, M et D (Référentiel Pédologique, 2008). Ainsi, la surface couverte par une variable est calculée à partir des strates de surface.

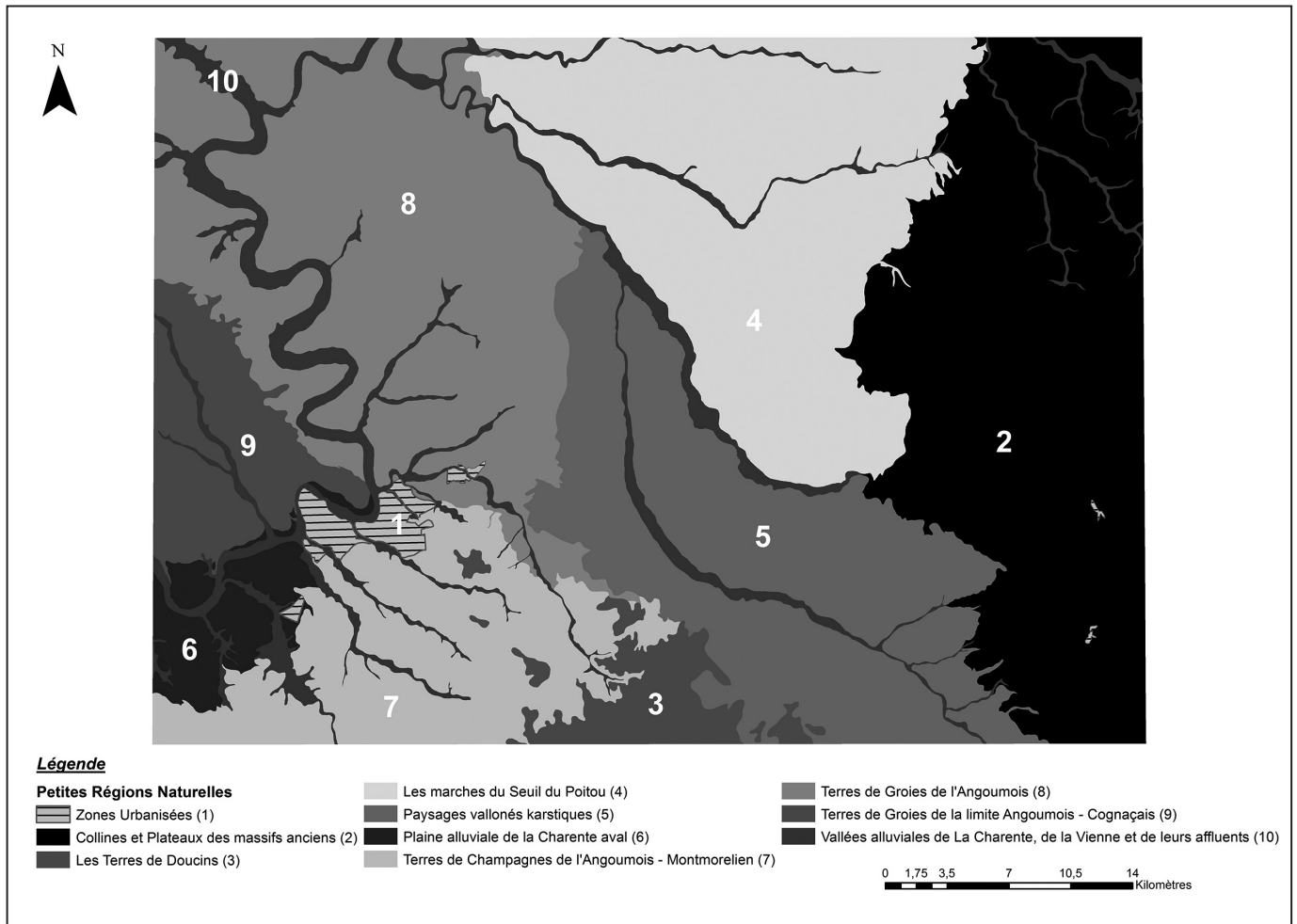
### Phase terrain

Le retour de la phase terrain montre qu'il y a une différence assez importante, selon les types de sols, entre les prédictions de sols de la carte papier publiée et les observations de sols faites (tableau 5).

En effet, les LUVISOLS sont les types de sols qui sont le moins observés par rapport à la carte d'origine (20,8% de concordance). A la place, des BRUNISOLS, des ALOCRISOLS et des PLANOSOLS sont le plus souvent observés. Cette différence entre prédictions et observations pour les sols lessivés de la carte d'Angoulême se retrouve quel que soit le type de substrats sur lequel le sol se développe (sur des Argiles à Silex, sur des Argiles de décalcifications, sur des paléosols argileux, sur des roches

**Figure 4** - Carte des Petites Régions Naturelles (PRN) de la carte d'Angoulême au 1/100 000 avec : 1 - Zones Urbanisées ; 2 - Collines et Plateaux du Massif Ancien (CPMA) ; 3 - Terres de Doucins (TD) ; 4 - Les Marches du Seuil du Poitou (LMSP) ; 5 - Paysages Vallonnés Karstiques (PVK) ; 6 - Plaine Alluviale de la Charente aval (PAC) ; 7 - Terres de Champagne de l'Angoumois - Montmorelien (TCAM) ; 8 - Terres de Groies des reliefs aplanis calcaire de l'Angoumois (TGA) ; 9 - Terres de Groies de la limite Angoumois - Cognaçais (TGAC) ; 10 - Vallées alluviales de La Charente, de la Vienne et de leurs affluents (VCV).

**Figure 4** - Small natural regions in the study area.



**Tableau 3** - Surface et nombre d'Unités Cartographiques de Sols (UCS) par Petites Régions Naturelles (PRN) de la carte d'Angoulême au 1/100 000 avec : CPMA - Collines et Plateaux du Massif Ancien ; TD - Terres de Doucins ; LMSP - Les Marches du Seuil du Poitou ; PVK - Paysages Vallonnés Karstiques ; PAC - Plaine Alluviale de la Charente aval ; TCAM - Terres de Champagne de l'Angoumois - Montmorélien ; TGA - Terres de Groies des reliefs aplanis calcaire de l'Angoumois ; TGAC - Terres de Groies de la limite Angoumois - Cognacais ; VCV - Vallées alluviales de La Charente, de la Vienne et de leurs affluents.

**Table 3** - Area and number of soil mapping units within the small natural regions.

Petites Régions Naturelles	Surface (en ha)	Nombre UCS
Collines et Plateaux du Massif Ancien - CPMA	47 150	16
Terres de Groies de l'Angoumois - TGA	43 811	22
Les Marches du Seuil du Poitou - LMSP	40 567	24
Paysages Vallonnés Karstiques - PVK	33 909	30
Terres de Champagne de l'Angoumois - Montmorélien - TCAM	19 746	23
Vallées alluviales de la Charente, de la Vienne et de leurs affluents - VCV	16 300	16
Terres de Groies de la limite Angoumois - Cognacais - TGAC	9 847	13
Terres de Doucins - TD	5 684	7
Plaine Alluviale de la Charente aval - PAC	5 231	20

cristallophylliennes et sur des Sables et Gravier du Périgord). Les FERSIALSOLS sont également assez peu observés par rapport aux prédictions de la carte (35,0% de concordance). A leurs emplacements, nous avons généralement observé des sols calcimagnésiques. Aussi, aux emplacements des BRUNISOLS, qui présentent une concordance moyenne (52,0% de concordance), des ALOCRISOLS, des REDOXISOLS, ainsi que des LUVISOLS, PODZOSOLS et ARENOSOLS sont observés. Enfin, les HISTOSOLS et les sols calcimagnésiques sont les types de sols qui présentent une concordance entre prédictions et observations la plus forte (66,7 et 84,4% respectivement). Aux emplacements des HISTOSOLS, des sols calcimagnésiques drainés sont observés alors qu'à la place des sols calcimagnésiques, il est observé des sols de types assez différents tels que les LUVISOLS, des BRUNISOLS, des PLANOSOLS, des ARENOSOLS, des HISTOSOLS et des FLUVIOSOLS.

### Estimation du temps de travail

La méthodologie mise en place pour la numérisation d'une carte ancienne se divise en plusieurs parties qui ne nécessitent pas le même temps de travail (tableau 6).

Il est important de préciser plusieurs points qui peuvent donner un autre sens à ces estimations de temps de travail :

1. Les temps indiqués sont estimés en équivalent temps plein pour 1 personne ;
2. la phase de terrain n'a duré qu'une semaine mais a été accomplie par 3 équipes de 2 soit 6 personnes ;
3. le traitement des échantillons a été opéré en parallèle par l'équipe conservatoire de l'INRA d'Orléans et les analyses

chimiques ont été réalisées par le Laboratoire d'Analyse des Sols d'Arras ;

4. la création de la nouvelle étude s'est faite sur une copie de l'étude d'origine.

En définitive, la méthode mise en place permet de numériser une carte ancienne et d'obtenir deux bases de données en un peu moins d'un an.

### DISCUSSION

La numérisation de la carte pédologique ancienne d'Angoulême et la création de sa base sémantique ont été accomplies en moins d'un an. Cependant, la méthodologie mise en place a montré plusieurs limites, soulevées en particulier par la phase de terrain.

Premièrement, la création d'UCS et d'UTS issues d'un travail d'interprétation de la notice par un expert pédologue se montre insuffisante pour certaines classes de sols du fait que les archives de terrain de la carte d'Angoulême n'ont pu être retrouvées. Aussi, le peu d'informations fournies dans la notice, surtout orientée vers des applications agronomiques, entraîne de nombreuses approximations et/ou erreurs d'interprétations. Dans le cas de la carte d'Angoulême, certains types de sols n'ont ainsi pas été observés aux endroits prédits :

- les FERSIALSOLS prédits ont rarement été observés dans une grande partie Ouest de la carte, particulièrement agricole. A la place, il a en effet été observé des sols calcimagnésiques à teinte rouge qui peuvent être issus de la remontée du calcaire



**Tableau 4** - Variables renseignées pour les tables de strat\_qual et strat\_quant de la base sémantique de la carte d'Angoulême au 1/100 000.**Table 4** - Number of analytical parameters available in the strata of the soil typological units.

Variabes de la table strat_qual	Nombre de strates renseignées (en %)	Surface couverte par la variable (en %)	Variabes de la table strat_quant	Nombre de strates renseignées (en %)	Surface couverte par la variable (en %)
Abondance Taches Oxydations	94	99	Taux de Sable (g/kg)	94	99
Abondance Taches Réductions	94	99	Taux de Limon (g/kg)	94	99
Texture GEPPA	94	99	Taux d'Argile (g/kg)	94	99
Effervescence	92	97	Abondance en Eléments Grossiers (%)	73	99
Couleur	81	90	pH eau	63	87
Abondance Nodules	70	68	Capacité Echange Cationique (mé/100 g) <sup>1</sup>	58	85
Abondance Matière Organique	66	83	Potassium échangeable (mé/100 g) <sup>2</sup>	57	84
Nom Eléments Grossiers	63	75	Magnésium échangeable (mé/100 g) <sup>2</sup>	57	84
Taille Eléments Grossiers	57	71	Calcium échangeable (mé/100 g) <sup>2</sup>	56	84
Type de Structure	52	74	Fer total (g/100 g) <sup>3</sup>	55	81
Netteté de la Structure	26	44	Fer libre (g/100 g) <sup>4</sup>	54	79
Nature du Revêtement	21	33	Taux Matière Organique (g/kg)	52	86

<sup>1</sup> Méthode RHIEM, <sup>2</sup> Méthode de percolation à l'acétate d'ammonium, <sup>3</sup> Méthode DEMOLON, <sup>4</sup> Méthode DEB modifiée

peu profond au cours du travail du sol. En effet, le retournement du sol sur une profondeur plus ou moins importante remonte le matériau parental et rajeuni le sol en le recarbonatant ce qui conduit à l'observation de RENDOSOLS ou CALCOSOLS à teinte légèrement rouge. Seules les zones forestières présentent encore des FERSIALSOLS typiques.

- aux emplacements des LUVISOLS prédits, il a été observé des BRUNISOLS luviques, des ALOCRISOLS et des PLANOSOLS. Ces différences peuvent s'expliquer par l'évolution de la classification en 40 ans : certaines classes de sols de la classification C.P.C.S. ont été modifiées, complétées et/ou améliorées avec l'apparition des différentes versions du Référentiel Pédologique 2008 (RP 2008). C'est notamment le cas de la classe des sols *Brunifiés* de la C.P.C.S. qui regroupe les BRUNISOLS, les ALOCRISOLS et les LUVISOLS du Référentiel Pédologique 2008. A l'inverse, les PLANOSOLS du RP 2008 avaient été, pour la plupart, rattachés à la sous-classe des *Sols lessivés* de la C.P.C.S.

- les LUVISOLS et les ALOCRISOLS observés aux emplacements des BRUNISOLS prédits, s'expliquent à la fois par l'évolution de la classification (pour les ALOCRISOLS) mais peut-être également par la pédogenèse. En effet, les sols bruns peuvent au cours du temps prendre la voie du « lessivage » (argilluviation) en climat humide et tendre vers des sols plus ou moins lessivés (Legros, 2007).

- Les HISTOSOLS prédits ont été généralement observés sauf dans la périphérie de la ville d'Angoulême où ils ont été drainés et artificialisés, pour l'expansion de la ville (*cf. ci-dessous*).

- Enfin, les erreurs de prédictions obtenues pour les sols calcimagnésiques, et pour lesquels des sols de types très différents sont observés, peuvent s'expliquer à la fois par : (1) des erreurs d'interprétations de la notice explicative, (2) par la proximité d'autres UCS aux caractéristiques assez différentes dont les limites sont peut-être un peu floues à cette échelle et (3) par des bornes de teneurs en calcaires totaux, pour le passage de sols bruns à sols calciques, différentes selon le type de classification des sols.

**Tableau 5** - Concordance entre types de sols prédits par la compréhension de la notice et types de sols observés lors de la phase terrain pour la carte d'Angoulême au 1/100 000.

**Table 5** - Matching between predicted and observed soil types.

Types de sols prédits (correspondance CPC/SP)	Nombre de profils	Concordance (en %)	Part des autres types de sols observés (en %)	Types de sols observés
LUVISOLS	24	20,8	41,7	BRUNISOLS
			20,8	ALOCRISSOLS
			16,7	PLANOSOLS
FERSIALSOLS	42	28,6	52,4	Sols calcimagnésiques
			16,7	Sols calcimagnésiques fersiallitiques
			2,4	BRUNISOLS
BRUNISOLS	25	52,0	24,0	ALOCRISSOLS
			12,0	REDOXISOLS
			4,0	LUVISOLS
			4,0	PODZOSOLS
			4,0	ARENOSOLS
HISTOSOLS	3	66,7	33,3	Sols calcimagnésiques (drainés)
Sols calcimagnésiques	45	84,4	4,4	LUVISOLS
			2,2	BRUNISOLS
			2,2	PLANOSOLS
			2,2	ARENOSOLS
			2,2	HISTOSOLS
			2,2	FLUVIOSOLS

La phase terrain a alors un rôle primordial pour compléter ou corriger ces manques. Il est toutefois important de relativiser les statistiques portant sur la concordance des prédictions avec nos observations de terrain. La stratégie d'échantillonnage que nous avons retenue ne correspond pas à un échantillonnage probabiliste, mais résulte d'une stratégie « orientée » qui consiste à : (i) privilégier les zones peu renseignées qui sont *a priori* moins bien cartographiées sur la carte d'origine, (ii) utiliser une stratégie de transects en se concentrant sur les limites entre unités où il y a le plus de probabilité de trouver une erreur d'allocation inhérente au tracé des limites, et (iii) à ne pas échantillonner les vastes zones homogènes et bien caractérisées où l'on aurait sans doute trouvé une meilleure concordance. En d'autres termes, la dissimilarité entre les prédictions de la carte et nos observations est fortement influencée par cette stratégie qui sur estime les erreurs d'allocations aux unités de sols, là où un échantillonnage probabiliste au

prorata des surfaces des UTS aurait probablement montré une meilleure concordance.

En outre, en plus de 40 ans, l'impact anthropique a grandement modifié l'environnement. Le paysage décrit dans la notice explicative n'est plus vraiment d'actualité à cause notamment de l'aménagement foncier et de l'urbanisation (*figure 5*). Dans les zones périurbaines, l'étalement urbain a grignoté les terres agricoles proches et donc les UCS correspondantes. Cet étalement urbain a été quantifié à l'échelle nationale à une artificialisation de 56 000 ha par an entre 2000 et 2004 soit 1 département français tous les 10 ans (Laugier, 2012). Dans le cas de la carte d'Angoulême (*figure 5*), l'artificialisation des sols a augmenté de 7% entre 1990 et 2006 contre 10% à l'échelle nationale selon les données Corine Land Cover. On observe une accélération de l'urbanisation dans la dernière décennie puisque l'accroissement de l'artificialisation n'était que d'environ 4.8% entre 1990 et 2000 (Laroche *et al.*, 2006). Cette mutation du paysage s'est

**Tableau 6** - Tableau du temps de travail nécessaire pour la réalisation des phases du travail identifiées dans la méthode de numérisation de carte pédologique ancienne.

**Table 6** - *Man days (jours) or man weeks devoted to the whole study.*

Phase de travail	Temps passé
1. Numérisation	3 jours
2. Structuration de la base de données (PRN et UCS)	1 à 2 semaines
3. Créations des UTS à partir des profils récupérés et de la notice	12 semaines
4. Saisie des données sur DoneSol	10 semaines
5. Vérifications des saisies	2 semaines
6. Préparation de la phase de terrain	2 semaines
7. Réalisation de la phase de terrain	6 semaines
8. Traitement des échantillons et saisie des sondages (description et analyse)	2 à 3 semaines
9. Traitement des nouvelles données (allocation des sondages)	2 semaines
10. Création d'une nouvelle étude mise à jour	6 semaines
11. Vérifications des saisies	1 semaine
<b>TOTAL</b>	<b>44 à 47 semaines</b>

notamment observée au niveau de L'Isle d'Espagnac où la carte pédologique indiquait la présence d'une tourbière en 1970 mais qui, lors de la phase de terrain, s'est révélée être entièrement anthropisée.

En somme, trois raisons peuvent expliquer les erreurs d'allocations observées au cours de la phase de terrain : (i) une évolution anthropique (étalement urbain, drainage...) ou naturelle du sol, (ii) une évolution de la classification des sols et (iii) une incertitude liée aux tracés des limites. Ces différentes sources d'incohérence sont estimées par types de sols recherchés et à l'échelle de l'ensemble de notre échantillonnage dans la figure suivante (*figure 6*).

Une réflexion autour de l'utilisation des cartes anciennes est alors nécessaire pour prendre en compte ces différentes évolutions.

Dans le cas de l'évolution temporelle des sols et de l'évolution de la classification des sols une question majeure pour la numérisation des cartes anciennes peut se poser : doit-on mettre à jour les données anciennes de la carte avec les informations actuelles ou la numérisation doit-elle correspondre à la carte au moment de sa réalisation ?

La première option a l'avantage de présenter une carte complète actualisée. En revanche, elle a l'inconvénient de nécessiter une phase de terrain conséquente pour une actualisation complète. Dans notre exemple, la phase de terrain n'a permis d'actualiser qu'une partie des UCS de la carte. La seconde option a l'avantage de proposer une carte datée et donc historique. Cependant, cette carte ne correspond plus entièrement

à la réalité de terrain actuelle. Il apparaît donc que, dans l'idéal, il conviendrait d'avoir à la fois une carte ancienne et une carte actualisée. De plus, celles-ci pourraient être à la base de l'élaboration de cartes étudiant d'autres thématiques telles que les changements, tant liés à l'intensification des pratiques agricoles qu'à l'expansion de l'urbanisation. Dans notre étude, l'actualisation n'a été réalisée que pour les UCS présentant à l'origine le moins d'informations. Une actualisation totale n'a pas été possible compte tenu du temps et des moyens disponibles.

Dans le cas de l'étalement urbain, la mise à jour de la carte pédologique n'est pas nécessaire car l'information est déjà présente et actualisée dans d'autres couches graphiques disponibles d'occupation des sols.

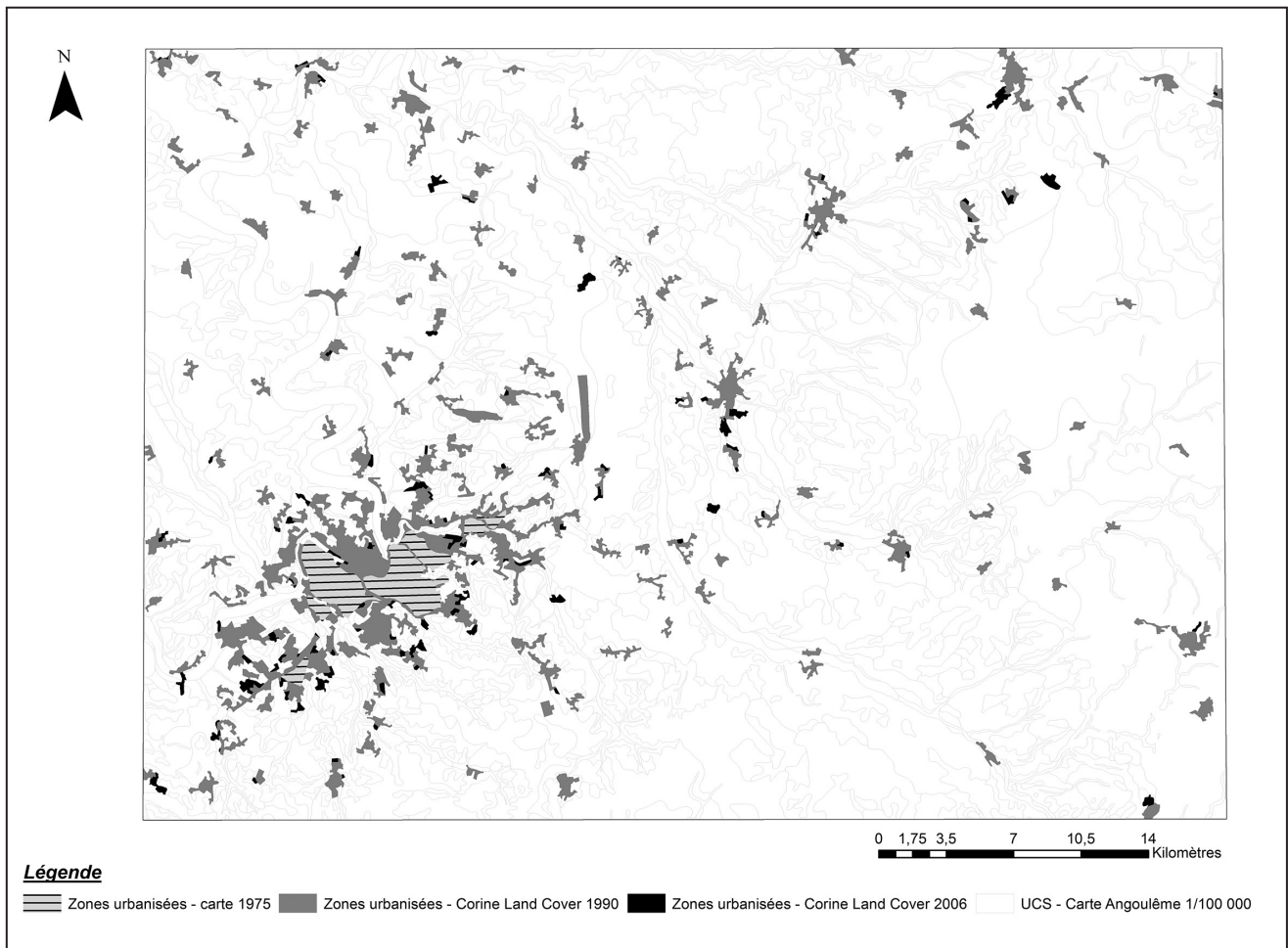
## CONCLUSION

Un des axes majeurs du programme Connaissance Pédologique de la France est de sauvegarder le capital des connaissances acquises sur les sols depuis les années 60. Concrètement, un des objectifs est de parvenir à l'informatisation et à la mise en base de données en format DoneSol de cartes pédologiques anciennes.

Dans ce cadre, et dans le cadre de l'exemple présenté, nous montrons qu'une phase de retour sur le terrain est particulièrement importante. Elle permet à la fois (i) d'avoir des points de comparaison entre les différentes conceptions et versions de la cartographie et la classification des sols des années 60 à nos

**Figure 5** - Carte de l'évolution des zones urbanisées entre la date de parution de la carte d'Angoulême (1975) et les données de Corine Land Cover de 1990 et 2006.

**Figure 5** - Soil sealing between the original soil map (1975) and 1990 and 2006.



jours, mais également (ii) d'identifier et de cartographier des évolutions d'origine anthropique.

L'élaboration de deux bases de données semble souhaitable :

- une carte d'origine qui est basée sur les données anciennes et qui peut être une donnée historique sur laquelle des évolutions ultérieures pourront être analysées,
- une carte plus actualisée prenant en compte les évolutions liées à des facteurs anthropiques et temporels. Cette carte peut ainsi constituer la base d'études pour des problématiques actuelles d'utilisation ou d'aménagement des sols mais également un indicateur des évolutions historiques depuis les années 60.

Une validation de cette méthodologie serait intéressante à l'occasion de la numérisation d'autres cartes pédologiques anciennes de contextes géologiques, pédologiques et environnementaux différents. Les messages principaux sont les suivants :

- les données anciennes doivent absolument être sauvegardées,

- un retour sur le terrain permet : (i) de les actualiser, (ii) d'identifier les évolutions majeures qui ont modifié les propriétés des sols durant les dernières décennies et (iii) de localiser les changements.

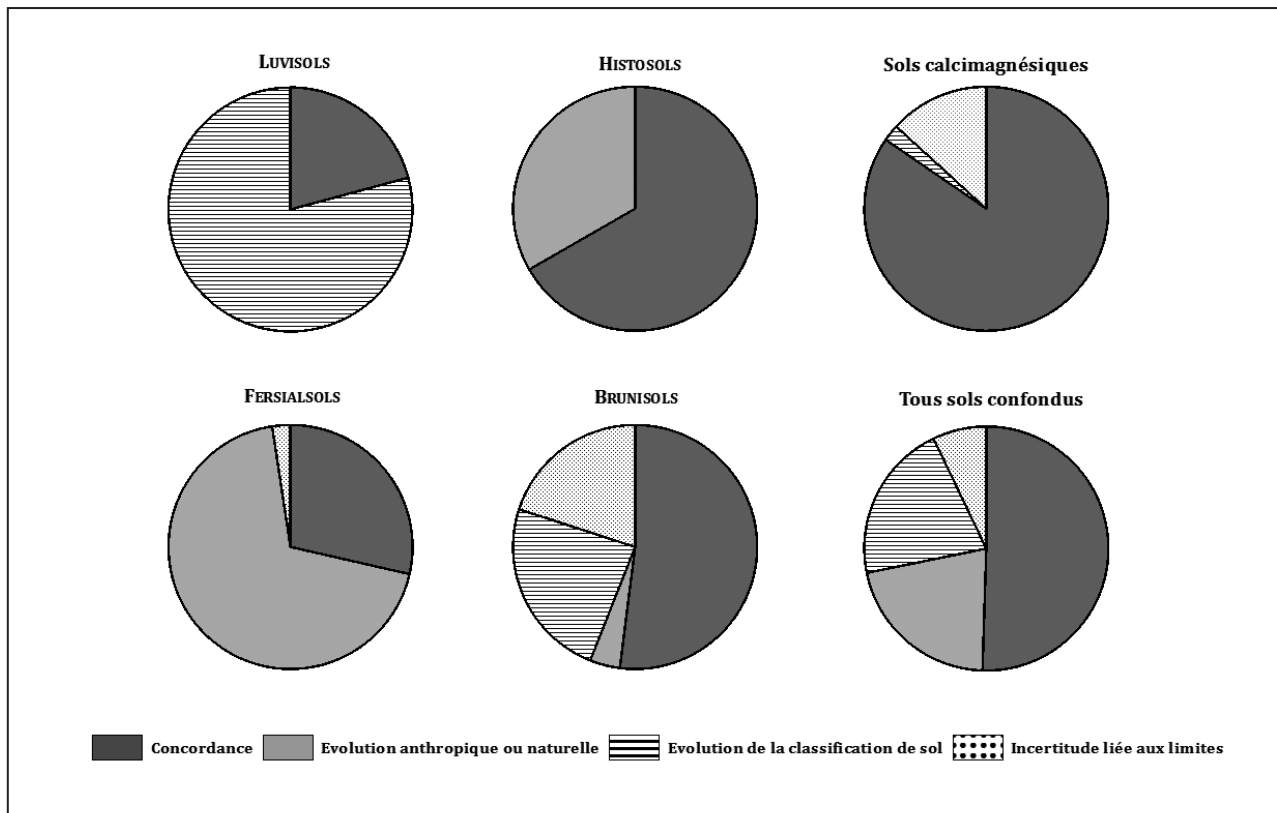
En particulier, disposer d'une carte des sols ancienne devrait permettre de réaliser une analyse spatiale et quantitative de l'emprise de l'urbanisation sur les sols en fonction de leurs caractéristiques ou de leurs services écosystémiques.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé dans le cadre du programme « Connaissance Pédologique de la France ». Nous remercions vivement Philippe Lagacherie et Joël Moulin pour leurs critiques très constructives d'une première version de cet article.

**Figure 6** - Diagrammes de la répartition des différences d'allocations des types de sols par types de sols recherchés et à l'échelle globale de notre échantillonnage.

**Figure 6** - Inconsistencies between predicted and observed soil types .



## BIBLIOGRAPHIE

Association Française pour l'Etude du Sol, 2008 - Référentiel Pédologique. QUAE, 405 p.

Callot G., 1974 - Carte des sols d'Angoulême au 1/100 000 et sa notice explicative. INRA. Editions QUAE. 143 p. (<http://www.quae.com/fr/r605-carte-pedologique-de-france-a-1-100-000.html> ; dernier accès le 21/02/2014).

Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols, 1967 - Classification des sols. E.N.S.A. Grignon, 87 p.

Eimberck M. et Joly B., 2008 - Numérisation d'études pédologiques à moyennes échelles : méthodologie et estimation des coûts. *Etude et Gestion des Sols*, 15 (1), pp. 51-68.

Grolleau E., Bargeot L., Chafchafi A., Hardy R., Doux J., Beaudou A., Le Martret H., Lacassin J.-Cl., Fort J.-L., Falipou P. et 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.

InfoSol, 2013 - Dictionnaire de données - DoneSol version 3.4. 466 p. Disponible en ligne sur : <https://dw3.gissol.fr/login> (dernier accès 15/03/2015).

Jamagne M., Bornand M. et Hardy R., 1989 - La cartographie des sols en France à moyenne échelle. Programmes en cours et évolution des démarches. *Science du Sol*. Vol. 27, 4. pp. 301-318.

Laroche B., Thorette J., Lacassin J.-Cl., 2006 - L'artificialisation des sols : pressions urbaines et inventaire des sols. *Etude et Gestion des sols*, Vol. 13, 3. pp. 223-235.

Laugier R., 2012 - L'étalement urbain en France. Centre de Ressources Documentaires Aménagement Logement Nature. (<http://www.cdu.urbanisme.equipement.gouv.fr/synthese-l-etalement-urbain-en-france-fevrier-2012-a20748.html> ; dernier accès le 05/03/2012).

Legros J.P., 1996 - Cartographie des sols. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. 321 p.

Legros J.-P., 2007 - Les grands sols du monde. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. 574 p.

Richer-de-Forges A.C., Baffet M., Berger C., Coste S., Courbe C., Jalabert S., Lacassin J.-C., Maillant S., Michel F., Moulin J., Party J.-P., Renouard C., Sauter J., Scheurer O., Verbèqque B., Desbourdes S., Héliès F., Lehmann S., Saby N.P.A., Tientcheu E., Jamagne M., Laroche B., Bardy M., Voltz M., 2014 - La cartographie des sols à moyennes échelles en France métropolitaine. *Etude et Gestion des sols*, 21(1). pp. 25-36



