

Le programme Inventaire Gestion et Conservation des Sols de France

D. Arrouays⁽¹⁾, R. Hardy⁽¹⁾, N. Schnebelen⁽¹⁾, C. Le Bas⁽¹⁾, M. Eimberck⁽¹⁾, J. Roque⁽¹⁾, E. Grolleau⁽¹⁾, A. Pelletier⁽¹⁾, J. Doux⁽¹⁾, S. Lehmann⁽¹⁾, N. Saby⁽¹⁾, D. King⁽²⁾, M. Jamagne⁽²⁾, D. Rat⁽³⁾ et P. Stengel⁽⁴⁾

(1) INRA, Unité Infosol, Centre de Recherche d'Orléans, BP 20619, 45166 Olivet Cedex

(2) INRA, Unité de Science du Sol, Centre de Recherche d'Orléans, BP 20619, 45166 Olivet Cedex

(3) Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales. DGFAR, 78 rue de Varennes, 75007 Paris

(4) INRA, Direction Scientifique EONAT, 147 rue de l'Université, 75007 Paris

RÉSUMÉ

Cet article présente l'historique, la méthode et l'état d'avancement des actions de cartographie systématique des sols de France. Les levés cartographiques, programmés à l'origine par coupure cartographique IGN à 1/100 000, sont maintenant structurés selon un programme multi-échelle permettant l'organisation, le stockage et le transfert de l'information, depuis des échelles parcellaires jusqu'aux échelles régionales. La constitution de bases de données géographiques régionales de précision compatible avec une restitution cartographique à l'échelle du 1/250 000 est le programme prioritaire. Bien qu'encore en retard par rapport à un certain nombre de ses voisins européens, l'inventaire cartographique des sols de France a connu ces dernières années une progression importante dans le cadre du programme IGCS. De nouvelles régions adhèrent progressivement au programme, ce qui laisse espérer que l'objectif de la couverture exhaustive du territoire pourra être atteint en 2010.

Mots clés

Sols, cartographie, inventaire, bases de données, France.

SUMMARY

THE FRENCH SOIL INVENTORY AND MAPPING PROGRAMME

This paper deals with the history, the method and the state of progress of systematic soil mapping programmes in the French territory. Soil survey was initially planned to be realised on the basis of 1 : 100 000 sheets of the national geographic institute. Soil survey is now integrated in a multi-scale framework allowing data storage and transfer from field scale survey to regional ones. The main priority is to build regional geographical soil databases allowing mapping at 1 : 250 000 scale. Although the state of progress is still less achieved than in

some neighbouring european countries, the french soil inventory has been making significant progresses for the last previous years within IGCS »s framework. New regions are involved in this programme which should be completed at the end of 2010.

Key-words

Soil, mapping, inventory, survey, databases, France.

RESUMEN

EL PROGRAMA INVENTARIO GESTIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS DE FRANCIA

Este artículo presenta el histórico, el método y el estado de avance de las acciones de cartografía sistemática de los suelos de Francia. Los levantamientos cartográficos, programados al principio por hoja cartográfica IGN al 1/100 000 son ahora estructurados según un programa pluri-escala que permite la organización, el almacenamiento, y la transferencia de la información, desde las escalas de las parcelas hasta las escalas regionales. La constitución de los bancos de datos geográficos regionales con una precisión compatible con una restitución cartográfica a escala 1 : 250 000 es el programa prioritario. Aunque todavía en retraso con ciertos de sus vecinos europeos, el inventario cartográfico de los suelos de Francia conoció estos últimos años una progresión importante en el cuadro del programa IGCS. Nuevas regiones adquieren progresivamente al programa, lo que permite esperar que el objetivo de la cobertura exhaustiva del territorio podría ser alcanzado en 2010.

Palabras claves

Suelos, cartografía, inventario, bancos de datos, Francia.

Les premiers programmes nationaux de cartographie systématique des sols de France ont été initiés en 1968, avec la création du Service d'Etude des Sols et de la Carte Pédologique de France (SESCPF) au sein de l'INRA (Jamagne, 2004). A l'origine, ce service avait pour principale mission de coordonner les levés et la publication des « cartes pédologiques de France à 1/100 000 » (Jamagne *et al.*, 1989a et b). A la fin des années 1980, force a été de constater que le rythme d'avancement des travaux ne permettrait pas d'obtenir une couverture exhaustive du territoire dans un délai acceptable.

Le Ministère de l'Agriculture et l'INRA ont alors décidé de mettre en place le programme « Inventaire Gestion et Conservation des Sols », dont les objectifs étaient à l'origine triples :

- élaborer des documents cartographiques à l'échelle du 1/250 000 pour chacune des régions françaises (Bornand *et al.* 1989 ; Favrot *et al.*, 1994 ; Hardy, 1998),
- constituer des bases de données associées permettant leur intégration au sein de systèmes d'informations géographiques (Gaultier *et al.* 1992),
- mettre en place des cartographies détaillées de « secteurs de référence » représentatifs de la répartition des sols de petites régions naturelles et dont le suivi des fonctionnements agronomiques ou environnementaux permet d'acquérir des références généralisables à des systèmes-sol analogues (Favrot *et al.* 1998).

En parallèle, plusieurs régions ou départements ont mené des programmes de cartographies harmonisées à diverses échelles, fréquemment au 1/50 000 et au 1/25 000 (Région Centre, Aisne, Vienne, Vaucluse...). Enfin, durant la même période, de très nombreuses initiatives locales (pour le conseil agronomique, pour l'aménagement, pour la caractérisation de terroirs, la protection de l'environnement...) se poursuivaient, générant une quantité importante de données non harmonisées et non capitalisées sur les sols. Bornand (1997) évalue que ces travaux ont représenté, en masse financière mobilisée, plus du double des investissements réalisés dans des programmes nationaux.

Face à ce constat, et face à la diminution des effectifs du SESCOF, une réflexion a été entreprise à la fin des années 1990, associant les Ministères de l'Agriculture et de l'Environnement, l'Ademe, l'Ifen et l'INRA, afin de proposer un nouveau cadre, une redéfinition des enjeux et des objectifs prioritaires (Boiffin et Stengel, 2000) et de l'organisation et des moyens nécessaires pour y parvenir. Cette réflexion a abouti en 2001 à la création du Groupement d'Intérêt Scientifique « Sol », regroupant les organismes cités plus haut. Les principales conséquences de cette réorganisation ont été les suivantes :

- une augmentation sensible des crédits nationaux destinés à l'inventaire cartographique des sols,
- la création de l'Unité Infosol de l'INRA, responsable de la mise en œuvre des programmes du GIS Sol,
- la mise en place de nouveaux dispositifs de surveillance (Arrouays *et al.* 2003),

- une redéfinition des programmes d'inventaires et de leurs priorités, déjà brièvement évoquées dans la synthèse de King *et al.* (1999).

C'est cette redéfinition des programmes d'inventaire, leur organisation, leur état actuel d'avancement, et leurs liens avec d'autres programmes nationaux ou internationaux qui font l'objet de cette note de synthèse.

STRUCTURATION DU PROGRAMME IGCS

Structuration en un programme multi-échelle

Les programmes de cartographie ont été structurés en un système unique d'information multi-échelle, dénommé Inventaire Gestion et Conservation des Sols.

UNITES	ECHELLE	DIFFUSION	SURFACE
France	1/000 000	Organismes nationaux, internationaux	Exhaustive
Région	1/250 000	Décideurs, aménageurs, régionaux	Exhaustive
Unités de Sol, petites régions	1/100 000 à 1/50 000	Collaborateurs	Représentative d'une petite région
Parcelles	1/10 000	Acteurs locaux	De Référence

Les Référentiels Régionaux Pédologiques au 1/250 000 constituent l'information minimum requise à l'échelle des régions et de la nation. Il est en effet indispensable de parvenir à cette couverture exhaustive de notre territoire dans un délai raisonnable (10 ans). Ce programme s'adresse en priorité aux décideurs et aux aménageurs régionaux. Il est actuellement le programme prioritaire de l'ensemble des actions IGCS. La couverture du territoire par ces actions permettra également une révision et une actualisation progressive de la base géographique des sols à 1/1 000 000, utilisée aux niveaux national et international.

Les inventaires à moyenne échelle constituent le noyau de connaissances des lois de distribution des sols dans les paysages. Ces actions portent, d'une part, sur des données déjà acquises (numérisation des informations disponibles dans les cartes publiées ou en cours), et d'autre part, sur des actions localisées d'acquisition de nouvelles données, compléments indispensables à la représentativité du dispositif à l'échelle du territoire français (King et Saby, 2001). On s'intéresse, en lien avec la recherche, *aux méthodes de transfert d'échelle* afin de fournir des outils de généralisation au-delà des seuls espaces prospectés.

Le volet parcellaire, couvert par les secteurs de référence à des échelles détaillées, permet de maintenir les liens étroits et nécessaires avec la profession agricole. Ces secteurs constituent également le support de réseaux permettant l'étude fonctionnelle d'unités de sols et l'analyse de l'évolution de leurs propriétés au cours du temps. Certaines opérations de recherche et de développement sont ainsi directement couplées avec ces réseaux.

L'ensemble ainsi organisé permet un enrichissement progressif de l'information, chaque donnée acquise pouvant être intégrée dans les bases de données de niveau supérieur.

Structure organisationnelle du programme IGCS

Dans le cadre de ce programme multi-échelle, l'Unité InfoSol de l'INRA d'Orléans assure l'animation scientifique et l'harmonisation à l'échelle nationale. Elle constitue également le secrétariat technique de l'opération, en particulier en ce qui concerne l'établissement des conventions, le suivi de l'avancement des travaux (carte des cartes réalisées), l'élaboration des produits et le contrôle et la validation de la qualité des données. Les travaux d'acquisition des données sol sont menés par divers chargés d'étude sous contrôle direct de maîtres d'ouvrages délégués régionaux. Certains sont conduits directement par Infosol.

Le programme IGCS est doté d'un Conseil Scientifique qui se réunit semestriellement. Il définit les actions prioritaires à mener et les propositions de financement national pour ces actions. Il propose l'attribution de « labels » de qualité des bases de données après expertise menée par Infosol et deux experts indépendants.

Des groupes de travail nationaux ayant des mandats précis pour une durée limitée permettent de traiter des questions relatives au programme [statut juridique des données et modalité de concession de droits d'utilisation, conventions type, formation et communication, applications thématiques (Le Bas *et al.*, 2004)]. En fonction des propositions des partenaires régionaux et de l'avis du Conseil Scientifique, le Haut Comité de Groupement du GIS Sol définit annuellement les actions prioritaires et les enveloppes budgétaires qui y sont consacrées.

La mise en place des programmes s'effectue le plus souvent sur la base d'un partenariat régional ou départemental. Une convention est établie entre les différents maîtres d'ouvrage, qui désignent en leur sein un maître d'ouvrage délégué. La réalisation des travaux proprement dits peut faire appel à des chargés d'étude indépendants. L'origine des fonds mobilisés pour la réalisation du programme peut être très diverse (fonds européens, nationaux, régionaux, départementaux, autofinancements des maîtres d'ouvrage). Dans le cadre du GIS Sol, le ministère de l'agriculture peut apporter des crédits incitatifs. L'INRA met à disposition son savoir-faire méthodologique, l'ensemble des documents et bases de données en sa possession sur le terrain d'étude, la structure de la base de données, une aide pour le choix des chargés d'étude, et des procédures de

vérification de la qualité des données acquises. En retour, les bases de données sont retransmises à l'INRA à titre conservatoire, et pour la constitution d'une base de données nationale harmonisée à cette échelle.

CONTENU ET AVANCEMENT DES PROGRAMMES

Référentiels Régionaux Pédologiques

L'objectif de la constitution des Référentiels Régionaux Pédologiques (RRP) est de disposer de bases de données géographiques sur la nature et la distribution des sols, compatibles avec une utilisation régionale, dans un contexte national et européen. Ces bases de données doivent posséder un degré de précision géographique permettant une restitution cartographique à l'échelle du 1/250 000. Les Unités cartographiques délimitées dans le cadre de ce programme sont appelées des « paysages pédologiques », « Pédopaysages » ou encore « Unités Pêdo-Paysagères » (Girard, 1983 ; Bornand *et al.*, 1989). Ce type d'unité se situe à un niveau de perception assez global, qui combine des approches lithologiques, morphologiques, hydrologiques, altitudinales et pédologiques, ainsi que des composantes résultant de l'utilisation par l'homme (parcellaires, occupations...). En conséquence, les unités délimitées sont généralement des associations de sols dont le mode d'organisation spatiale, les interactions, les natures et les comportements sont caractéristiques. Ces unités cartographiques de sols comprennent ainsi généralement plusieurs unités typologiques de sol, non délimitées graphiquement, mais organisées selon un motif de répartition particulier qui peut être décrit dans la base de données (*figure 1*).

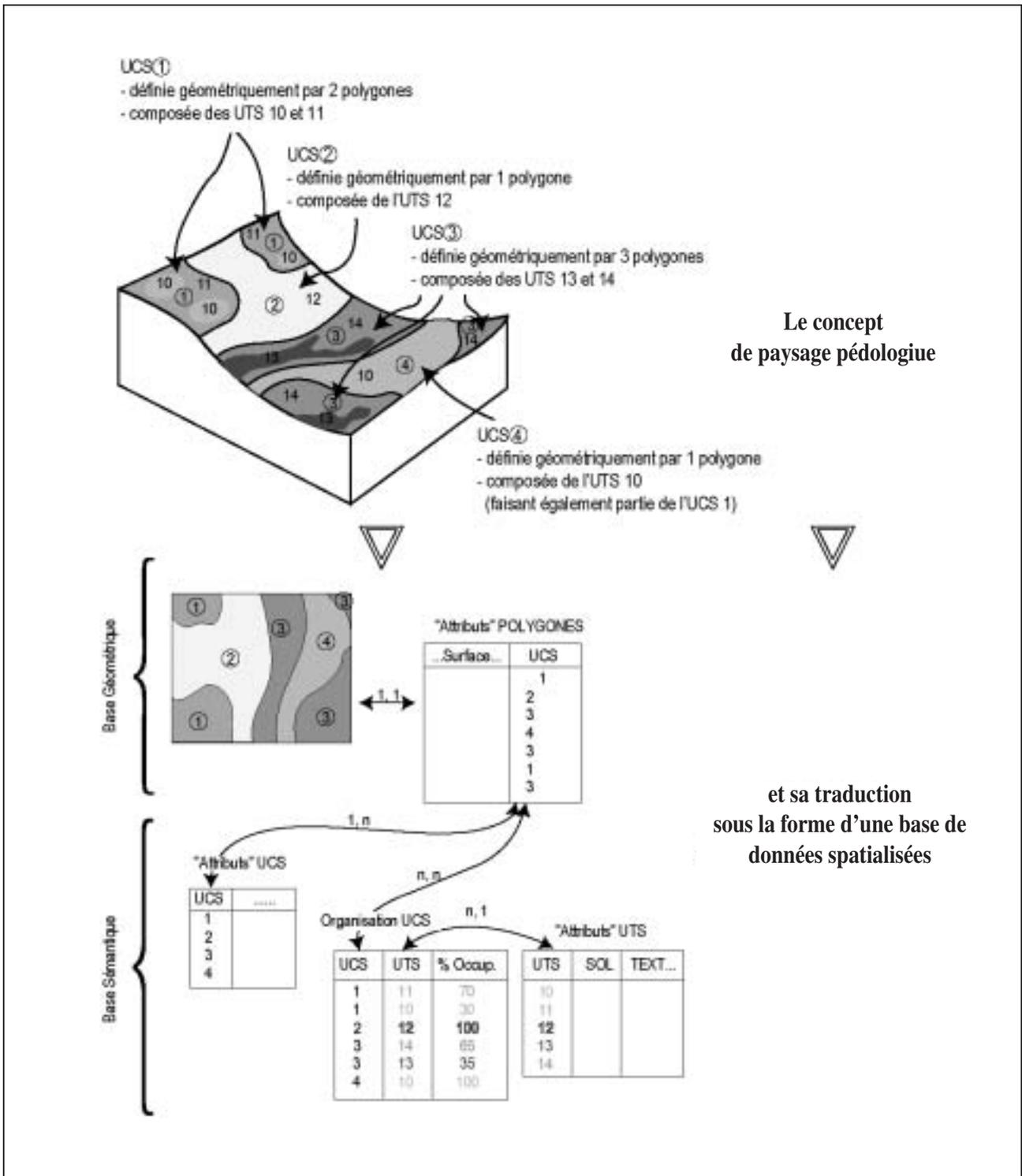
La réalisation de l'étude implique des méthodes et techniques assez différentes selon que l'on dispose ou non de documents pédologiques préexistants.

Pour les zones déjà cartographiées

L'essentiel du travail consiste à réaliser une synthèse des informations existantes, compatible avec les objectifs du Référentiel régional pédologique et avec l'échelle de représentation cartographique. On peut ne retenir que les études réalisées aux échelles de 1/100 000 au 1/50 000, voire 1/25 000 dans les cas les meilleurs. Le plus souvent, la simple réduction d'échelle est tout à fait insuffisante pour obtenir un document correspondant aux objectifs du RRP. L'élaboration de ce dernier à partir des études à échelle supérieure implique généralement des regroupements d'unités sur la base de critères pédologiques et paysagiques significatifs préalablement sélectionnés. Dans ce cas, le traitement et l'interprétation des images satellitaires et/ou de modèles numériques d'altitude peuvent être d'un secours déterminant.

Figure 1 - Modèle de connaissance du paysage pédologique (d'après Jamagne *et al.*, 1995)

Figure 1 - Model of knowledge of the soilscape



Il faut donc s'assurer que les caractéristiques prises en compte pour ces études à finalités diverses ont encore un sens à l'échelle du 1/ 250 000. Dans le cas contraire, il faudra envisager d'acquérir des compléments d'information sur le terrain.

L'analyse de ces caractéristiques doit pouvoir, en particulier, permettre la mise en évidence et la définition des valeurs modales de chaque caractéristique et de leurs intervalles de variation pour chaque unité.

Pour les zones où n'existe aucun levé pédologique

La conduite des études s'organise classiquement en plusieurs phases :

- Une phase préparatoire de consultation des documents de base tels que :
 - les cartes topographiques à 1/50 000 pour transposition ultérieure des points d'observation du sol (sondages, fosses),
 - les cartes géologiques (1/50 000 et 1/80 000),
 - les cartes d'inventaire forestier (à diverses échelles) et les cartes de végétation (1/200 000),
 - les photographies aériennes,
 - les images satellitaires SPOT, Landsat.

Ces documents permettent une prise de connaissance d'un certain nombre de composantes du milieu. En particulier, le traitement et l'interprétation des images satellitaires associés aux données topographiques (altitudes), géomorphologiques (pentes, modèles), botaniques (végétation naturelle) et lithographiques (nature des matériaux qui constituent le substrat) permettent d'établir un pré-découpage de la région en pédopaysages.

- Une phase de prospection systématique du terrain faisant appel à des observations de surface et à toutes techniques d'investigation en profondeur, (tarière, fosse, tranchée...) pour délimiter les unités cartographiques de sols et délimiter les unités typologiques qui les composent.

- Une phase de caractérisation des unités typologiques de sols, qui consiste en l'examen des solums¹ dans des fosses ou tranchées. La description morphologique ainsi que les résultats analytiques obtenus sur les échantillons prélevés dans les différents horizons, doivent permettre de définir les caractéristiques intrinsèques des sols.

Les unités cartographiques sont fréquemment constituées de plusieurs plages cartographiques (ou polygones en langage SIG) dont le nombre et la surface sont bien entendu très variables en fonction de l'organisation des sols et de la géomorphologie (par exemple, sur les plateaux, peu de plages cartographiques, mais de grandes dimensions ; sur les systèmes de pente ou les buttes témoins, de nombreuses plages de faible étendue). A titre d'exemple, nous présentons (figure 2) la répartition classée par ordre décroissant du nombre de polygones et de leur surface moyenne au sein des unités cartographiques de deux RRP, celui de l'Île de France (Roque,

2003) et celui de la Côte d'Or (Chrétien, 2000 ; Chrétien *et al.*, 2003). Le plus grand nombre de polygones par Unité en Île de France est en partie attribuable à une surface cartographiée supérieure. Il est remarquable de constater que lorsque l'on compare la surface des plages cartographiques, les différences entre les deux distributions s'estompent nettement, et que les surfaces maximales, minimales et moyennes sont très comparables.

Les surfaces moyennes des plages sont en effet de 680 ha (Île de France) et 670 ha (Côte d'Or), ce qui correspond à des surfaces de l'ordre du centimètre carré sur la carte éditée. Les plus petites plages peuvent atteindre des surfaces inférieures à 50 ha : cela ne signifie pas que l'ensemble de la carte dispose d'une telle résolution, mais que certaines situations remarquables et facilement cartographiables ont pu être identifiées (par exemple, sur l'Île de France, certaines buttes témoins, les grès de Fontainebleau, certains affleurements rocheux sur pentes fortes...). En effet, la densité moyenne d'observations (sondages) est généralement comprise entre 1 sondage pour 200 hectares (pour le label supérieur, attribué à ces deux bases) et 1 sondage pour 800 hectares (pour le label minimal).

Etat d'avancement

Le programme a débuté par des essais méthodologiques principalement conduits par les pédologues cartographes de l'INRA. Il s'est ensuite développé dans plusieurs régions sous l'impulsion d'acteurs locaux (citons principalement la Bourgogne, La Région Rhône-Alpes, La Région Poitou-Charentes et la Région Aquitaine). Plus récemment, de nouvelles régions se sont lancées dans la réalisation de programmes pluriannuels concernant le RRP (Provence Alpes Côtes d'Azur, Pays de la Loire, Picardie, Nord Pas de Calais, Alsace, Midi Pyrénées). Les avancements sont consultables en ligne (<http://gissol.orleans.inra.fr>).

Au 31-03-2004, l'état d'avancement des programmes est résumé sur la figure 3. Les levés cartographiques sont achevés sur environ 50 % du territoire, et en cours sur 10 %. L'informatisation des données représente une phase longue et minutieuse, en décalage temporel par rapport aux levés de terrain. Au 31-03-2004, 20 % de la surface du territoire sont informatisés, dont seulement 10 % ont subi les procédures de vérification et obtenu la validation de leur qualité. L'objectif est d'arriver à une couverture exhaustive du territoire à l'horizon 2010. En ce qui concerne les DOM-TOM, de nombreuses études cartographiques ont été réalisées, en particulier par l'IRD. L'IRD met actuellement en place une procédure d'informatisation de ces données, en collaboration avec l'Unité Infosol (Beaudou *et al.*, 2004). Les bases de la Martinique et de Wallis et Futuna sont achevées.

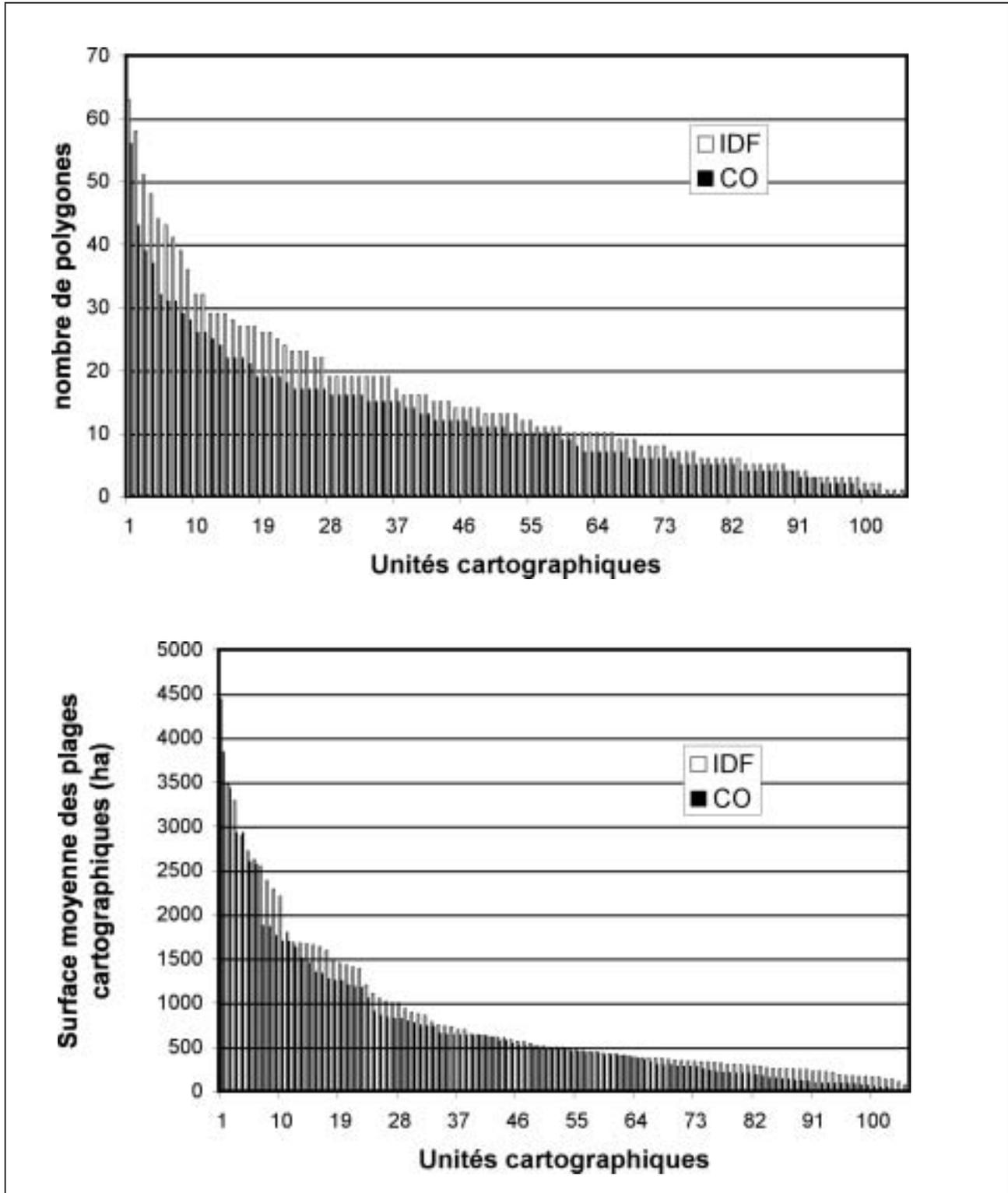
Connaissance Pédologique de la France

Ce volet (CPF) constitue le noyau de connaissances des lois de distribution des sols dans les paysages ainsi que l'outil de transfert d'échelle permettant d'appliquer des méthodes sur des zones non

1 : Solum : ensemble des horizons qui constituent le sol et qui traduisent son degré d'évolution, communément appelé : « profil du sol »

Figure 2 - Nombre de polygones et leur surfaces pour deux Référentiel Régionaux (IDF : Ile de France, CO : Côte d'or). En abscisse les unités cartographiques sont triées par nombre de polygones (en haut) ou par surface moyenne des plages cartographiques (en bas) décroissants

Figure 2 - Numbers of polygons (and their mean areas) for two regional maps



prospectées. L'objectif d'inventaire systématique du territoire, initialement assigné au programme « Carte Pédologique de la France à l'échelle du 1/ 100 000 », a dû être abandonné car il s'est avéré irréaliste compte tenu des moyens disponibles. Les objectifs actuels du programme CPF sont de trois ordres.

1. Capitaliser l'information acquise : Il s'agit principalement d'informatiser les informations disponibles dans les cartes publiées ou en cours de finition, afin d'éviter toute perte d'information et d'enrichir les bases de données.

2. Acquérir des connaissances sur des secteurs peu connus : ces études portent sur des secteurs représentatifs de types d'organisation des sols peu décrits jusqu'à lors afin d'aboutir à un dispositif représentatif à l'échelle du territoire français.

3. Développer des méthodes de transfert d'échelle : On s'intéresse, en lien avec la recherche, aux *méthodes de transfert d'échelle*, afin de valoriser cet ensemble d'informations au-delà des seuls territoires prospectés. L'objectif est de proposer des modèles s'appuyant sur les données disponibles (Modèle numérique d'altitude - MNA -, cartes géologiques, images satellitaires, etc.) fournissant les moyens permettant d'appliquer ces modèles sur des zones prospectées à des échelles moins détaillées, notamment celle correspondant au RRP.

Le programme CPF est réalisé en partenariat avec des organismes disposant des compétences nécessaires et intéressés à son développement (Laboratoires de recherche, Universités, Établissements d'enseignement supérieurs, Chambres d'Agriculture...). Les principaux financements de ce programme proviennent de crédits de la DGER du ministère de l'agriculture, qui sont gérés par l'INRA et dont la ventilation est soumise à l'approbation du GIS Sol. Les partenaires autofinancent généralement une part importante du coût total de réalisation des travaux.

Globalement, 15 % du territoire est couvert par des études (Achevées). Au 31-03-2004, le programme CPF a réalisé 32 cartes dont 23 sont publiées, 6 sont informatisées et 15 sont en cours d'informatisation (figure 4). Si l'on prend également en compte les études au 1/50 000, 50 % du territoire est couvert par des études à moyenne échelle. En analysant la représentativité des cartes pédologiques au 1/ 100 000, King et Saby (2001) ont montré que les cartes publiées, bien que peu nombreuses, constituent toutefois un échantillon assez bien représentatif des sols du territoire métropolitain.

Secteurs de Référence

Le volet Secteur de Référence consiste en une cartographie détaillée et en une caractérisation des propriétés de petits secteurs représentatifs d'une petite région naturelle (Favrot *et al.*, 1998). L'objectif est d'inventorier et de caractériser la nature des sols d'un secteur afin d'en établir une typologie et de formuler des recommandations pratiques concernant leur mise en valeur ou leur utilisation, sans pour autant devoir cartographier en détail l'ensemble du territoire concerné.

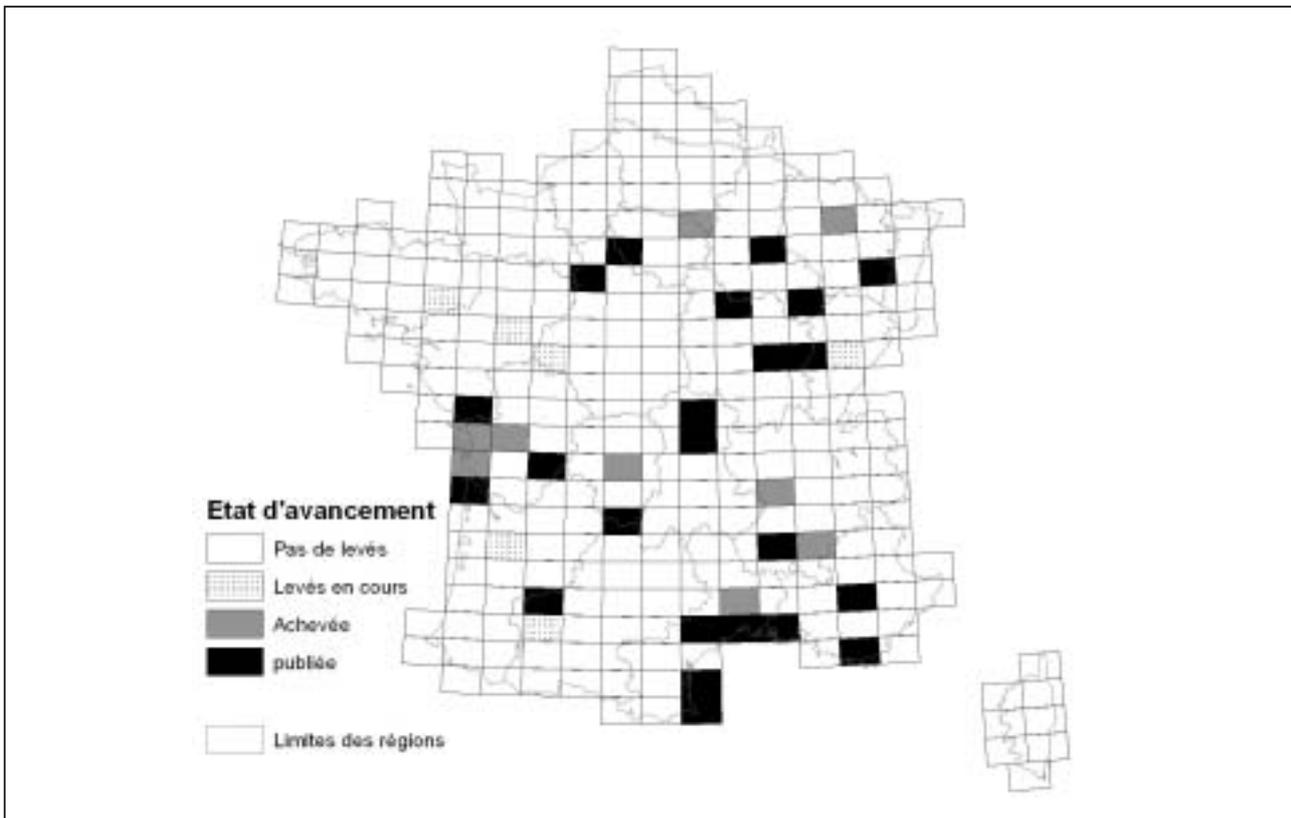
Figure 3 - Etat d'avancement du programme IGCS, mars 2003

Figure 3 - State of progress of regional mapping at 1 : 250 000 scale. March 2003



La caractérisation des sols et de leur organisation est assortie d'une clé de détermination permettant aux praticiens locaux d'identifier à la parcelle le type de sol décrit dans le secteur de référence. Les secteurs de référence sont généralement conduits pour des applications spécifiques (drainage, irrigation, épandage, choix d'encépagements...) et pour répondre à une demande locale. Les montages financiers peuvent être très divers, mais ont souvent des sources locales (groupements de producteurs, coopératives, syndicats intercommunaux...), départementales, ou régionales prédominantes. Le ministère de l'agriculture peut apporter des crédits incitatifs à leur réalisation.

Leur première application fut le conseil en matière de drainage agricole (choix des techniques de pose des drains, écartements, techniques associées...). Une autre application courante de ce type d'approche est la constitution de typologies ou de guides régionaux permettant une reconnaissance sur le terrain des principaux types de sol à partir d'une clé de détermination. Ces guides formulent éga-

Figure 4 - Etat d'avancement du programme carte pédologique de France à 1/100 000**Figure 4** - State of progress of the 1 : 100 000 soil mapping programme

lement des recommandations techniques en fonction des sols concernés. Les secteurs de référence ont également trouvé des applications en matière de recherche en développement de méthodes de transfert d'échelle ou de cartographie assistée par ordinateur (par exemple, Lagacherie, 1992; Thomas *et al.*, 1999). Actuellement, des secteurs se développent ou se développeront très prochainement pour d'autres thématiques (irrigation, gestion des eaux superficielles et souterraines, diversification, encépagements, épandages, agriculture de précision...). Plus d'une centaine de secteurs de référence ont été actuellement réalisés en France, majoritairement dans le cadre des opérations secteurs de référence drainage et irrigation (*figure 5*).

Gestion des données

DONESOL est la structure commune permettant l'harmonisation de l'ensemble des bases de données géographiques des programmes d'inventaire. Il constitue l'outil de gestion des données qui permet leur extraction et/ou leur combinaison (Gaultier *et al.*, 1992). Cette structure a permis le développement de programmes de vérification de la cohérence des données, indispensables à la garantie de leur qualité. L'existence des tables « études » et « organismes »,

associée à des travaux complémentaires, a permis de développer deux outils importants pour les utilisateurs ou les producteurs de données : un répertoire des études pédologiques « REFERSOL » et un répertoire des organismes intervenant en pédologie et cartographie des sols « REPEDO ». La structure de cette base de données et les nombreux outils associés qui ont été récemment développés sont décrits par Grolleau *et al.*, dans ce même numéro.

COMPLEMENTARITE DE L'INVENTAIRE AVEC LES AUTRES PROGRAMMES DU GIS SOL

Le développement du programme IGCS est complémentaire des actions menées en matière de surveillance. Par rapport aux programmes de surveillance, les bases de données IGCS permettront de fournir l'une des couches d'information géographique nécessaire pour généraliser les observations ponctuelles d'évolutions. Elles permettront également d'analyser la représentativité du réseau, et ainsi, d'une part, de contribuer à définir l'aire de représentativité locale des sites et, d'autre part, d'aider au choix de sites complémen-

taires éventuels, ou de raisonner la localisation de sites orientés vers l'étude de processus spécifiques. En retour, les réseaux de surveillance permettent un enrichissement de la base de données « profils » du programme IGCS. Ces réseaux, et la Base de Données d'Analyse de Terre (Saby *et al.*, dans ce numéro), offrent de plus la possibilité de cartographier des paramètres dynamiques fortement influencés par l'homme (carbone organique, éléments nutritifs, éléments traces métalliques...), ce que ne permet pas l'approche « statique » de la cartographie des sols. Enfin, ces réseaux sont actuellement utilisés pour tester de nouvelles méthodes analytiques applicables en routine, dont certaines pourraient être intégrées aux déterminations réalisées dans le cadre des programmes de cartographie.

DES UTILISATIONS DE PLUS EN PLUS DIVERSES

Une enquête auprès des producteurs de données a permis de recenser plus d'une centaine d'applications des programmes IGCS en France (Le Bas *et al.*, dans ce numéro). Les applications de nature agricole et agro-environnementales sont encore largement majoritaires. Toutefois, certaines applications apparaissent en émergence (aménagement du territoire, espaces naturels, cynégétique...) qui montrent que la gamme d'applications possibles est susceptible de s'élargir notablement.

Figure 5 - Répartition des secteurs de référence drainage et irrigation en France

Figure 5 - Distribution of reference areas for irrigation and drainage in France



CONCLUSION

Bien qu'encore en retard par rapport à un certain nombre de ses voisins européens, l'inventaire cartographique des sols de France a connu ces dernières années une progression importante dans le cadre du programme IGCS. Son originalité consiste en une approche multi-échelle intégrant différents niveaux d'investigation dans un cadre structurel unique. De nouvelles régions françaises adhèrent progressivement au programme IGCS, ce qui laisse espérer que l'objectif de la couverture exhaustive du territoire pourra être atteint en 2010. La méthode appliquée dans le cadre d'IGCS a été retenue par le Bureau Européen des Sols, qui propose un manuel harmonisé pour les pays membres (Finke *et al.*, 2001).

REMERCIEMENTS

Le programme IGCS est une opération menée dans les régions avec le soutien national du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol. Nous remercions vivement l'ensemble des partenaires financiers, techniques et scientifique de ce programme.

BIBLIOGRAPHIE

- Arrouays D., Jolivet C., Boulonne J., Bodineau G., Ratié C. Saby N., Grolleau E., 2003 - Le réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS) de France. Etude et gestion des Sols, 10(4), pp. 241-250.
- Beaudou A. et Le Martret H., 2004 - MIRURAM/VALSOL : Un système d'information et une base de données pour représenter les sols tropicaux et leurs environnements - EGS v11 n°3, pp. 271-284
- Boiffin J., Stengel P., 2000 - Réapprendre le sol : nouvel enjeu pour l'agriculture et l'espace rural. In Demeter 2000, Economie et Stratégies agricoles, Armand Colin, pp.152-194
- Bornand M., 1997 - Connaissance et suivi de la qualité des sols en France. Etat des lieux. Enjeux. Besoins en données. Propositions pour une gestion raisonnée de la ressource en sol. Rapport d'expertise Ministère de l'Agriculture, Ministère de l'Environnement, INRA, 176 p.
- Bornand M., Arrouays D., Jamagne M., et Baize D., 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., 2000 - Référentiel Régional Pédologique de Bourgogne à 1/250 000. Régions naturelles, pédopaysages et sols de la Côte d'Or. Carte, base de données et notice explicative, 194 p. INRA Editions, Versailles.
- 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. Sci. Sol, 31, 3, pp.171-191.
- Favrot J.C., Arrouays D., Bornand M., Girard M.C., et Hardy R., 1994 - Cartographie et gestion des ressources en sol de France : Le programme Inventaire, Gestion et Conservation des sols. Cahiers d'études et de recherches francophones, Agricultures, 3(4) pp.237-246.
- Favrot J.C., Bornand M., Bouzigues R., Hardy R., 1998 - Une contribution à la connaissance des sols de France. Les typologies de sols et les référentiels agronomiques régionaux. CR Acad Agr. Fr. 84(7) pp.81-92.
- Finke P., Hartwich R., Dudal R., Ibanez J., Jamagne M., King D., Montanarella L. et Yassoglou Y., 2001 - Base de données géoréférencées des sols pour l'Europe. Manuel de procédures, Version 1.1. Commission Européenne, Bureau Européen des Sols, JRC, Ispra, Italie. 174 p.

- Gaultier JP., Legros JP., Bornand M., King D., Favrot JC. et Hardy R., 1992 - L'organisation et la gestion des données pédologiques spatialisées : le projet DONESOL. *Revue de Géomatique*, 3 (3), pp.235-253.
- Girard M.C., 1983 - Recherche d'une modélisation en vue d'une représentation spatiale de la couverture pédologique. Thèse Doct. d'Etat. *Sols*, 12, 430 p.
- 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 - EGS v11 n°3, pp. 255-270
- Hardy R., 1998 - Le programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols en région Lorraine. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 84, 5, pp.25-28.
- Jamagne M., Bornand M., Hardy R., 1989a - La Carte Pédologique de France à 1/ 100 000. *Science du Sol*, 27 (1), pp.21-24.
- Jamagne M., Bornand M., Hardy R., 1989b - La Cartographie des Sols en France à moyenne échelle. Programme en cours et évolutions des démarches. *Science du Sol*, 27 (4), pp.14-29.
- Jamagne M., Hardy R., King D., Bornand M., 1995 - La base de données géographique des sols de France. *Etude et Gestion des Sols*. 2(3), pp. 153-172
- Jamagne M. et Boulaine J., 2004 - Quelques données sur les activités du Service d'Etude des Sols et de la Carte Pédologique de France - EGS v11 n°3, pp. 353-368
- King D., Jamagne M., Arrouays D., Bornand M., Favrot JC., Hardy R., Le Bas C., Stengel P., 1999 - Inventaire cartographique et surveillance des sols en France. Etat d'avancement et exemples d'utilisation. *Etude et Gestion des Sols*. 6(4) pp.215-228.
- King D. et Saby N. 2001 - Analyse de 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.
- Lagacherie P., 1992 - Formalisation des lois de distribution des sols pour automatiser la cartographie pédologique à partir d'un secteur pris comme référence. Cas de la Petite Région Naturelle de la moyenne vallée de l'Hérault. Thèse ENSA-INRA Montpellier, 175 p.
- Le Bas C., Barthès S., Boutefoy I., Fort JL., Scheurer O., Darracq S., Lacassin JC., Sauter J. et Schwart C., 2004 - Utilisation des données sols d'I.G.C.S. en France : Un état des lieux - EGS v11 n°3, pp. 299-306
- Roque J., 2003 - Référentiel Régional Pédologique de l'Île de France à 1/250 000. Régions naturelles, pédopaysages et sols. Carte, base de données et notice explicative, 244 p. INRA Editions, Versailles.
- Saby N., Schwart C., Walter C., Arrouays D., Lemerrier B., Roland N. et Squidant H., 2004 - Base de Données des Analyses de Terre : Procédure de collecte et résultats de la campagne 1995-2000 - EGS v11 n°3, pp. 235-254
- Thomas A. L., King D., Dambrine E., Couturier A., Roque J., 1999 - Predicting soil classes with parameters derived from relief and geologic materials in a sandstone region of the Vosges mountains (Northeastern France). *Geoderma*, 90, pp.291-305.

