

# Base de Données des Analyses de Terre :

## Procédure de collecte et résultats de la campagne 1995-2000

N. Saby<sup>(1)</sup>, C. Schwartz<sup>(2)</sup>, C. Walter<sup>(3)</sup>, D. Arrouays<sup>(1)</sup>, B. Lemerrier<sup>(3)</sup>, N. Roland<sup>(2)</sup>  
et H. Squidant<sup>(3)</sup>

(1) INRA CR d'Orléans, Unité INFOSOL, Avenue de la Pomme de Pin, BP 20619 Ardon - 45166 Olivet Cedex

(2) ISA, Laboratoire Sols et Environnement, 41, rue du Port - 59046 Lille Cedex

(3) UMR ENSA-INRA SAS, 65, rue de Saint-Brieuc CS 84215 - 35042 Rennes

### RÉSUMÉ

A partir d'informations transmises par les laboratoires d'analyses de terre agréés par le Ministère en charge de l'Agriculture, une base de données des résultats d'analyses de terre a été constituée. Cette base de données concerne les analyses effectuées sur des échantillons de terre prélevés sur l'ensemble du territoire national entre 1995 et 2000. De telles bases ont déjà été constituées au niveau régional depuis les années 80 et au niveau national sur la période 1990-1994.

Dans un premier temps, nous exposons la démarche de la collecte qui s'articule autour d'étapes aujourd'hui clairement définies, avec notamment l'explicitation des procédures de validation des résultats d'analyses avant leur intégration à la base de données (validation informatique, analytique et géographique). Plus de 490 000 résultats d'analyses ont ainsi été rassemblés correspondant à plus de 4 700 000 déterminations. A partir de cet ensemble, une base de données cantonale a été construite par traitement statistique où la distribution de plusieurs déterminations agronomiques est décrite pour environ 2800 cantons suffisamment renseignés parmi les 3511 existants.

Dans un deuxième temps, les données sont décrites à la fois au niveau national et au niveau cantonal. La représentation cartographique à partir de critères statistiques montre des structures spatiales sur des grandes distances, y compris pour les propriétés à forte variabilité locale. Ces résultats confirment les acquis de la précédente campagne tout en permettant une caractérisation quantitative de ces structures. De plus, cette nouvelle campagne permet d'obtenir une cartographie plus exhaustive du territoire.

Cette démarche consiste, par voie d'enquête et à moindres frais, à compiler de nombreux résultats, qui permettent d'obtenir une vision globale de l'ensemble d'un territoire et de dégager des tendances. Elle vient en complément de démarches expérimentales ou de programmes de cartographie et de surveillance du GIS Sol, mieux à même de caractériser les sols dans leur globalité et de déceler leur évolution.

### Mots clés

Analyses de terre, base de données, qualité des sols, surveillance, cartographie.

**SUMMARY****THE FRENCH NATIONAL SOIL-TEST DATABASE: procedures and results for the collection period of 1995-2000**

A national soil information database has been compiled using data generated by commercial soil-testing laboratories that have been approved by the Ministry of Agriculture. This database includes analytical data obtained from samples of cultivated topsoil collected over the period 1995-2000. Similar databases had been compiled at both regional and national scales over the period 1985-1995.

In this paper, we detail the different steps of data compilation and the data validation procedures. The analytical soil results from more than 490,000 soil samples were gathered, corresponding to more than 4,700,000 individual soil data. A database describing topsoil of 'canton' was built by statistical processing of the original database. The distribution of several agronomically-important topsoil properties is described for those 'canton' where sufficient soil information exists; approximately 2800 among 3511 meet this criterion.

We also describe the data at both national and county scales. The cartographic representations using statistical criteria show large-range spatial structures, even for soil properties with high local variability. These results confirm the findings of the preceding soil data collections, but also allow a quantitative characterisation of these structures. Furthermore, this new collection of soil data represents a more exhaustive of topsoil information for France.

The French national soil-test database is a relevant tool for a broad-scale study of pedological, agronomic or environmental questions concerning topsoil and for temporal monitoring of these properties. However, it is only a complementary tool for both experimental research programs and for the cartographic and monitoring programs of the GIS Sol. These programs are more appropriate for globally characterising soils and for monitoring their evolution.

**Key-words**

Soil testing, data base, soil quality, monitoring.

**RESUMEN****BANCOS DE DATOS DE LOS ANÁLISIS DE TIERRA: Colecta de los análisis efectuados entre 1995 y 2000**

A partir de las informaciones transmitidas por los laboratorios de análisis de tierra aprobados por el ministerio en carga de la agricultura, se constituyó un banco de datos de los resultados de análisis de tierra. Este banco de datos concierne los análisis efectuados sobre las muestras de tierra colectadas sobre la totalidad del territorio nacional entre 1995 y 2000. Un tal banco ya se constituyó en el periodo 1990 - 1994.

En un primer paso, presentamos el enfoque de la colecta que se articula alrededor de etapas hoy claramente definidas, con particularmente la explicación de los métodos de validación de los resultados de análisis antes de su integración al banco de datos. (Validación informática, analítica y geográfica). Más de 490 000 resultados de análisis fueron así agrupados que corresponden a más de 4 700 000 determinaciones. A partir de este banco, un banco de datos cantonal se construyó por tratamiento estadístico donde la distribución de varias determinaciones agronómicas se describe para 2000 cantones que tienen suficientemente datos dentro de los 3511 existentes.

En un segundo tiempo, se describe los datos en el mismo tiempo al nivel nacional y cantonal. La representación cartográfica a partir de los criterios estadísticos muestra estructuras espaciales de grandes superficies, incluido para las propiedades con fuerte variabilidad local. Estos resultados confirman los resultados de la precedente campaña y permiten una caracterización cuantitativa de estas estructuras. Además, esta nueva campaña permite obtener una cartografía más exhaustiva del territorio.

Este enfoque adoptado consiste, por vía de encuestas y con menos gastos, compilar numerosos resultados que permiten obtener una visión global de todo un territorio y desempeñar tendencias. Viene en complemento de enfoques experimentales o de programas de cartografía y de vigilancia del GIS suelo, más capaz de caracterizar los suelos en sus globalidad y de revelar su evolución.

**Palabras claves**

Banco de datos, análisis de tierra, calidad suelos, cartografía

L'importance du rôle des sols dans l'environnement et la nécessité de sa protection sont de plus en plus reconnues. Après la mise en place des politiques relatives à la qualité de l'eau et de l'air, des mesures sont en cours d'élaboration concernant les sols, tant au niveau national qu'europpéen. Dans ce cadre, le Gis Sol a été créé en France par les ministères chargés de l'agriculture et de l'écologie, l'ADEME, l'IFEN et l'INRA (voir le site : <http://gissol.ortans.inra.fr/index.php>). Les documents publiés par la commission européenne depuis 2002 fixent des objectifs de protection des sols qui préfigurent les orientations principales de la directive européenne sur les sols qui est en préparation (voir le site : <http://europa.eu.int/comm/environment/soil/>).

Cependant, il faut constater que malgré les efforts réalisés depuis plusieurs décennies, le territoire français n'est encore que partiellement couvert par des études cartographiques et pédologiques ou par des dispositifs de surveillance systématiques de la qualité des sols. Les données nécessaires à la mise en œuvre des politiques envisagées ne sont donc pas totalement disponibles. L'un des objectifs du Gis Sol est de développer, de coordonner et d'harmoniser les différentes actions menées sur le territoire national qui concourent à une meilleure connaissance et à une meilleure gestion des sols français.

Or, les agriculteurs réalisent annuellement de l'ordre de 250 000 analyses de terre pour contrôler l'état des terres qu'ils cultivent et raisonner les quantités de fertilisants nécessaires. Ces analyses concernent principalement des horizons de surface de parcelles labourées et secondairement des parcelles affectées à d'autres usages (prairies, vergers, vignes) ou des prélèvements plus profonds. Bien que ce nombre d'analyses paraisse relativement peu important, surtout après que l'on ait retiré les résultats trop spécifiques comme les reliquats azotés, et que les prélèvements ne soient pas réalisés de façon planifiée, le regroupement de tous ces résultats permet de disposer d'une source d'information très intéressante sur la variabilité spatiale des sols cultivés. En effet, il s'agit là de données largement réparties sur l'ensemble du territoire, détaillées (en moyenne une dizaine de paramètres sont déterminés pour chaque échantillon) et datées.

Un stockage de telles données a été entrepris et des bases de données d'analyses de terre (BDAT) constituées et exploitées en France, aux échelles nationale et régionale depuis une vingtaine d'années (Leleux *et al.*, 1988; Schvartz, 1989; Walter *et al.*, 1997). Cette réalisation a été doublement facilitée par le fait que les laboratoires fournisseurs de données utilisent les mêmes méthodes d'analyses normalisées. Une approche analogue serait actuellement délicate à conduire au niveau européen, à cause de la diversité des méthodes d'analyses utilisées dans les différents pays : la tentative européenne récente de regrouper les résultats d'ETM n'a pu être menée à bien car les résultats, n'étant pas obtenus par les mêmes méthodes n'étaient pas comparables. Cet état de fait risque de changer, puisqu'un comité de normalisation européen sur la caractérisation des sols vient d'être créé (CEN 345) et que les normes qu'il édictera devront être appliquées dans tous les états membres. Par

ailleurs, au niveau français, l'agrément des laboratoires par le Ministère chargé de l'agriculture apporte également une garantie de qualité des résultats.

Quelles sont les nouveautés de l'action actuelle ? L'intégration de cette base de données d'analyses de terre dans les projets du Gis Sol, à travers l'unité InfoSol de l'INRA, montre la volonté de l'inscrire dans la durée et de remplacer les actions ponctuelles par un partenariat plus global établi sur le long terme avec les laboratoires. L'objectif est de revenir tous les 2 à 3 ans vers chacun d'eux et de réaliser ainsi une collecte continue des données. Ce pas de temps a été choisi pour étaler et optimiser les opérations de récolte de résultats, sans nuire aux possibilités de suivi temporel de paramètres qui ne varient pas trop rapidement. Une originalité est donc de se donner les moyens de disposer d'un suivi dynamique des caractéristiques des sols cultivés français. Ce suivi peut cependant être entamé dès à présent en comparant les données récemment acquises à celles de la période 1990-1994. Enfin, l'organisation évolutive de cette collecte permet à tout moment l'intégration d'un laboratoire pour lequel la fourniture de données n'était jusqu'alors pas possible.

Par ailleurs, la formalisation des relations avec les laboratoires permet de clarifier les conditions d'utilisation des données et de garantir formellement les intérêts des agriculteurs et des laboratoires, tout en préservant les possibilités de traitement scientifique des données. Les précautions à prendre pour une diffusion publique des résultats sont également précisées. A cet égard, s'il est nécessaire de disposer de la localisation communale pour chacun des paramètres afin notamment d'optimiser la finesse des recherches conduites à partir de ces résultats, les diffusions publiques ne concernent que des statistiques cantonales.

Le présent article a pour but, après avoir présenté les différentes phases de la récolte 1995-2000 et la procédure mise au point pour normaliser la validation des données reçues, de présenter le contenu de la BDAT ainsi acquise, ainsi qu'une première exploitation de son contenu. Ensuite un premier regroupement avec les données précédentes sera analysé, en ce qui concerne la texture et la comparaison de celle-ci avec les données issues de la carte pédologique au 1/1 000 000.

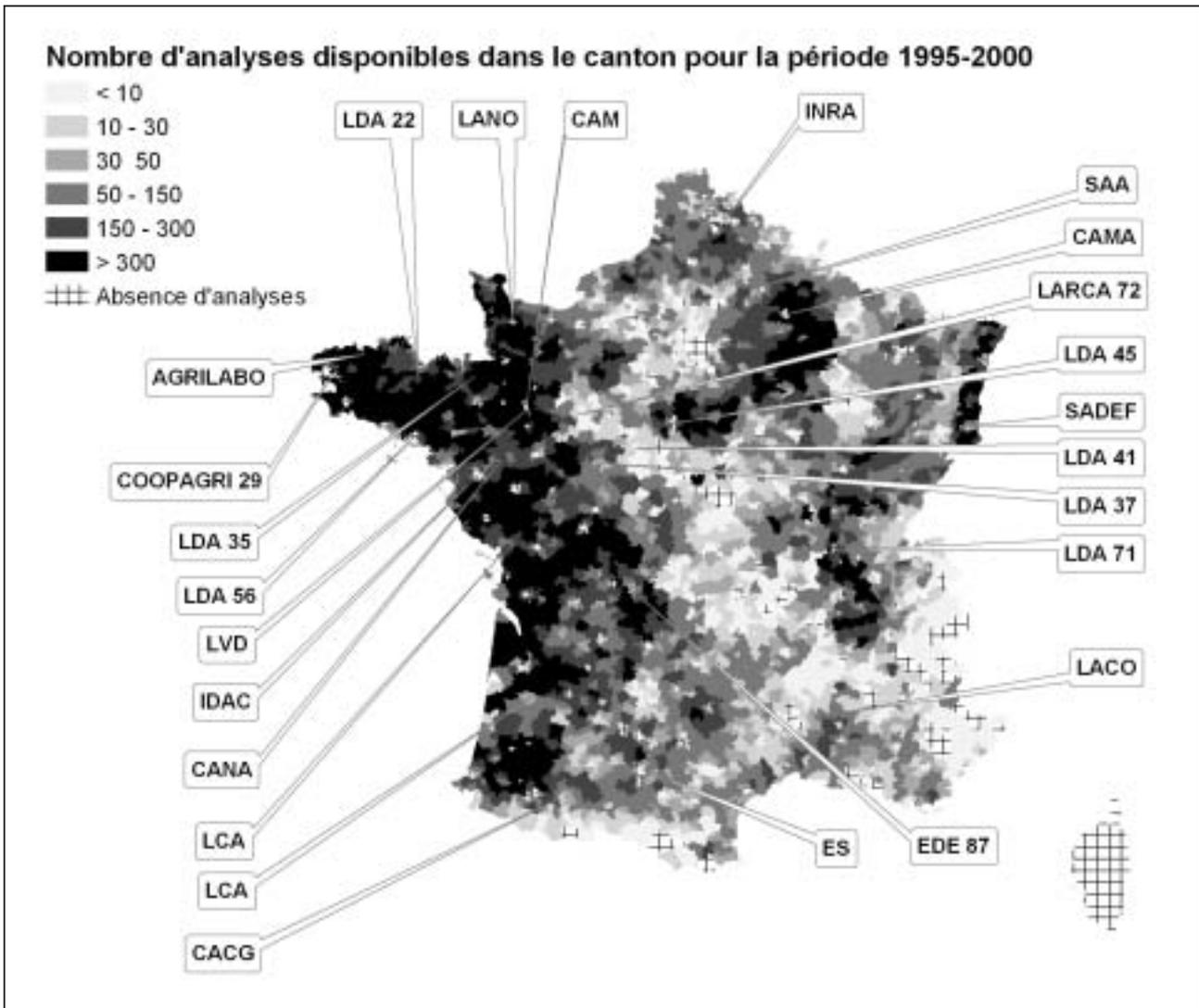
## MATÉRIELS ET MÉTHODES

Schvartz *et al.* (1997) ont mis en place une méthodologie de collecte d'analyses de terre sur l'ensemble du territoire national. Seuls quelques éléments clés et les principales évolutions de cette méthodologie sont exposés ici.

### L'origine des données

#### Les laboratoires

Les résultats d'analyses collectés proviennent de laboratoires ayant satisfait à une procédure d'agrément proposée par le minis-

**Figure 1** - Nombre d'analyses par canton et noms des laboratoires ayant fourni des données*Figure 1* - Maps of the number of analyses available in a 'canton' and names of the laboratories.

rière en charge de l'Agriculture et dont la liste est fournie par l'arrêté du 31 octobre 2001. 25 des 42 laboratoires agréés ont, à ce jour, répondu favorablement à la demande de transfert des résultats d'analyses réalisées entre 1995 et 2000 et ont fourni leurs données (figure 1 et tableau 1). 17 n'ont pas participé à cette collecte, soit en raison de difficultés informatiques, soit par manque de données, soit suite à un refus motivé par des stratégies commerciales.

### Le conventionnement

A la différence de la première collecte, la demande d'analyses a été assortie d'une convention réglant les termes du transfert des droits d'utilisation des données. Cette convention tripartite implique l'INRA Orléans (unité INFOSOL), le ministère en charge de l'agri-

culture et le laboratoire fournisseur de données. Elle informe notamment sur les droits d'utilisation des données, ainsi qu'un certain nombre d'exigences auxquelles doivent répondre les résultats d'analyse fournis. Les principales sont les suivantes :

- information sur le géoréférencement de la commune d'origine du prélèvement analysé,
- présence de 5 déterminations dont le carbone organique,
- documentation des données (méthode de mesure et unité d'expression de la mesure).

### La validation des données

Les données reçues sont soumises à 3 étapes successives de

**Tableau 1** - Laboratoires agréés participant à la collecte 1995-2000**Table 1** - Names of the laboratories which sent analyses

Sigle du laboratoire	Nom du laboratoire	Ville	département
SAA	Station agronomique de l'Aisne	Laon	02
LCA	Laboratoire centre atlantique	La Rochelle	17
LDA 22	Laboratoire départemental d'analyses 22	Ploufragan	22
LACO	Laboratoire coopératif d'œnologie	Suze-la-Rousse	26
AGRILABO	Laboratoire analyses de terre de fourrages d'aliments du bétail	Morlaix	29
COOPAGRI 29	COOPAGRI Bretagne laboratoire central	Landerneau	29
ES	Europe sols SA	Toulouse	31
LCA	Laboratoire centre atlantique	Blanquefort	33
LDA 35	Laboratoire départemental d'analyses agricoles	Combours	35
LDA 37	Laboratoire de Touraine	Tours	37
LDA 41	Laboratoire départemental agronomique et œnologique	Blois	41
CANA	Coopérative agricole La Noëlle-Ancenis	Ancenis	44
IDAC	Institut départemental d'analyse et de conseil	Nantes	44
LDA 45	Chambre d'agriculture du Loiret laboratoire	Orléans	45
LANO	Laboratoire agronomique de Normandie	Saint-Lô	50
CAMA	Laboratoire chaîne d'analyses Marne-Ardenne	Reims	51
CAM	Coopérative des agriculteurs de la Mayenne	Laval	53
LVD	Laboratoire vétérinaire départemental	Laval	53
LDA 56	Laboratoire départemental d'analyse du Morbihan	Vannes	56
INRA	Institut national de la recherche agronomique	Arras	62
CACG	Compagnie d'aménagement des coteaux de Gascogne	Tarbes	65
SADEF	Société alsacienne pour le développement et l'étude de la fertilité	Aspach-le-Bas	68
LDA 71	Laboratoire départemental de chimie agricole et d'œnologie	Mâcon	71
LARCA 72	Laboratoire de la chambre d'agriculture de la Sarthe	Le Mans	72
EDE 87	Chambre d'agriculture départementale de la Haute-Vienne laboratoire	Limoges	87

validation : informatique, analytique et géographique. Le contenu de ces étapes est guidé par les termes de la convention (figure 2).

### Validation informatique

Toutes les données ont été fournies sous des formats informatiques standards aisément récupérables tels que Dbase, ASCII, etc. Le regroupement au sein d'une seule base de données gérée dans un SGBD n'a pas entraîné de perte significative de données.

### Validation analytique

Bien que résultats proviennent de méthodes analytiques normées, la façon d'exprimer les résultats peut varier. C'est en particulier les cas des unités employées. Nous avons donc transformé les données reçues afin d'obtenir une homogénéité satisfaisante des données traitées par la suite. D'autre part, les analyses ne disposant pas des

5 déterminations demandées sont éliminées. Enfin, les résultats d'analyses faisant doublon sont systématiquement éliminés.

### Validation géographique

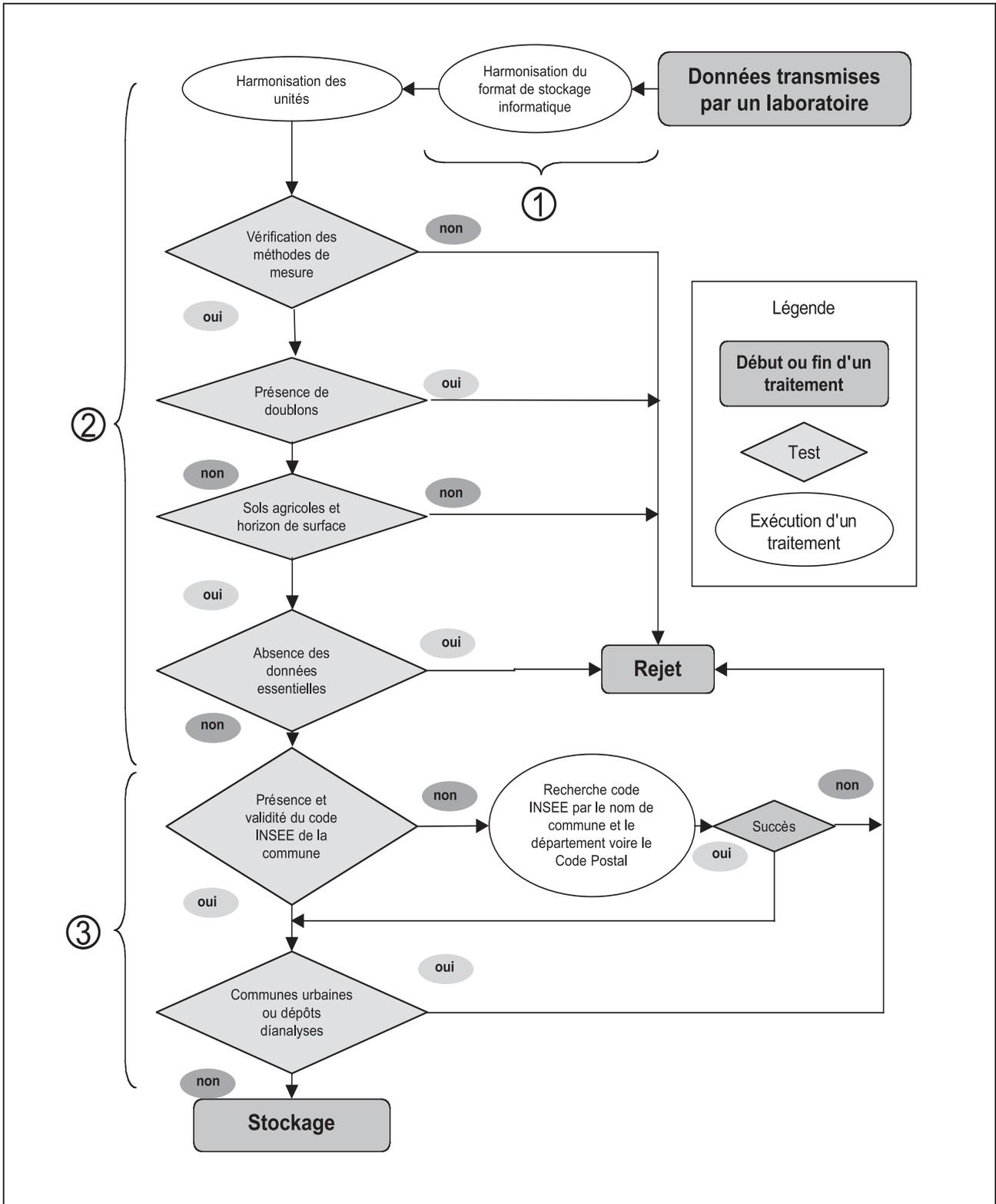
L'information de base permettant de localiser un résultat d'analyse est la commune de la parcelle d'où provient l'échantillon analysé.

Cette information a été fournie, majoritairement, sous la forme du code INSEE (forme archivée dans la base de données). Cependant, beaucoup de résultats ont été fournis avec le nom de la commune et son code postal. Ceux-ci doivent donc être convertis ; si la conversion n'est pas possible, l'analyse est éliminée.

D'autre part, certains résultats d'analyses sont référencés à des communes fortement urbanisées ou correspondant à des sièges ou bureaux d'organismes ayant une fonction de centralisation par rap-

**Figure 2** - Algorithme de mise en banque d'un nouveau laboratoire (1 : validation informatique ; 2 : validation analytique ; 3 : validation géographique)

**Figure 2** - New data laboratory integration Algorithm (1 : data validation ; 2 : analytical validation ; 3 : spatial validation)



**Tableau 2** - Répartitions des 23 laboratoires selon le nombre d'analyses transmises**Table 2** - *Repartition of the 23 laboratories according to the number of analyses they sent*

Nombre total d'analyses	Nombre de laboratoires concernés
Moins de 10 000	13
10 000 – 20 000	5
20 000 – 50 000	3
Plus de 50 000	3

port aux collectes d'analyses de terre (coopératives, chambre d'agriculture, bureaux d'étude, etc.). La localisation des parcelles de prélèvement n'étant pas fiable, ces analyses ont été éliminées.

## Descriptif de la base des données

Les résultats d'analyses provenant de 617 149 échantillons nous ont été adressés. La majorité des laboratoires (15) ont fourni moins de 20 000 analyses et trois laboratoires dépassent les 50 000 analyses en cumul sur les 6 ans (*tableau 2*). A l'issue de la procédure de validation, 464 010 analyses validées ont été stockées dans la base de données. Le taux de rejet, proche de 22 %, est plus important que celui de la première collecte (12 %). Cette augmentation peut s'expliquer, d'une part, par le nombre de déterminations fournies avec une localisation non fiable, et d'autre part, par celui des déterminations fournies appartenant à une période autre que la période 1995-2000 (*tableau 3*).

Les déterminations archivées sont les suivantes :

- la granulométrie,
- le pH (eau et KCl),
- le calcaire (total et actif),
- l'azote total,
- le carbone organique (oxydation et combustion),
- le phosphore extractible par les méthodes Joret-Hébert, Dyer ou Olsen,
- le potassium, le magnésium, le calcium et le sodium échangeables,
- la capacité d'échange cationique (Metson ou Rhiem)
- les oligo-éléments (EDTA ou solubles à l'eau)
- les éléments traces (Eau régale ou HF).

Toutes ces déterminations ne sont pas systématiquement renseignées. Les effectifs disponibles varient fortement de l'une à l'autre (*figure 3, tableau 4*). De façon similaire à la première collecte, les déterminations les plus courantes restent le carbone organique, les cations échangeables (sauf le sodium), le pH eau, le calcaire total. La mesure de la CEC est devenue plus courante que celle de l'argile ce qui confirme la diminution progressive du

**Tableau 3** - Répartition des analyses en fonction du motif de rejet (pourcentage par rapport au nombre d'analyse rejetées)**Table 3** - *Distribution of the analyses according to the reason for rejection (percentage compared to the number of analysis rejected)*

Absence d'information sur la localisation	11,1 %
Localisation non fiable	13,1 %
Déterminations manquantes	11,4 %
Données hors 1995-2000	31,9 %
Sols non agricoles	2,0 %
Autres (doublons,...)	0,6%

nombre de déterminations granulométriques, déjà relevée lors de la première collecte.

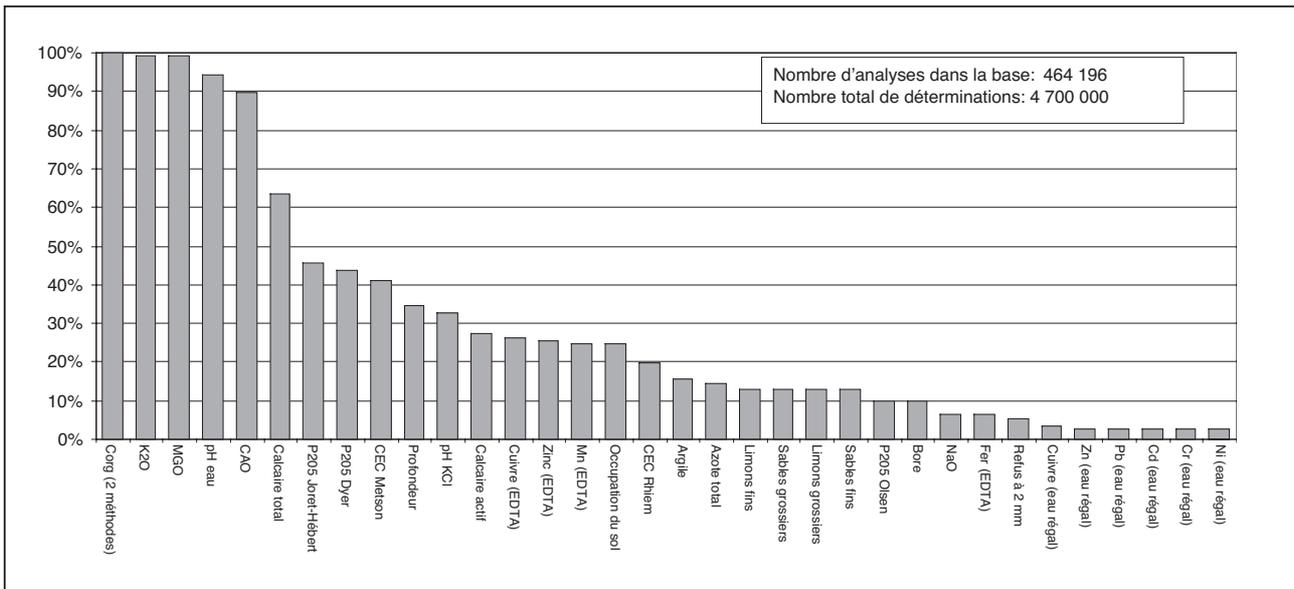
## Les statistiques descriptives

Comme le montrent Schvartz *et al.* (1997), le découpage cantonal apparaît le plus adapté pour l'étude de la variabilité spatiale des résultats à l'échelle nationale. En effet, ce découpage maximise le nombre d'analyses par entité géographique tout en minimisant la variabilité intra-strate des variables utilisées. D'autre part, en raison de l'hétérogénéité du jeu de données, des critères non paramétriques ont été privilégiés pour décrire les paramètres (médiane, quartile, décile). La cartographie de la médiane est alors utilisée pour indiquer la valeur centrale de la propriété, celle des quartiles inférieurs et supérieurs met en évidence la dispersion des valeurs au sein d'un canton.

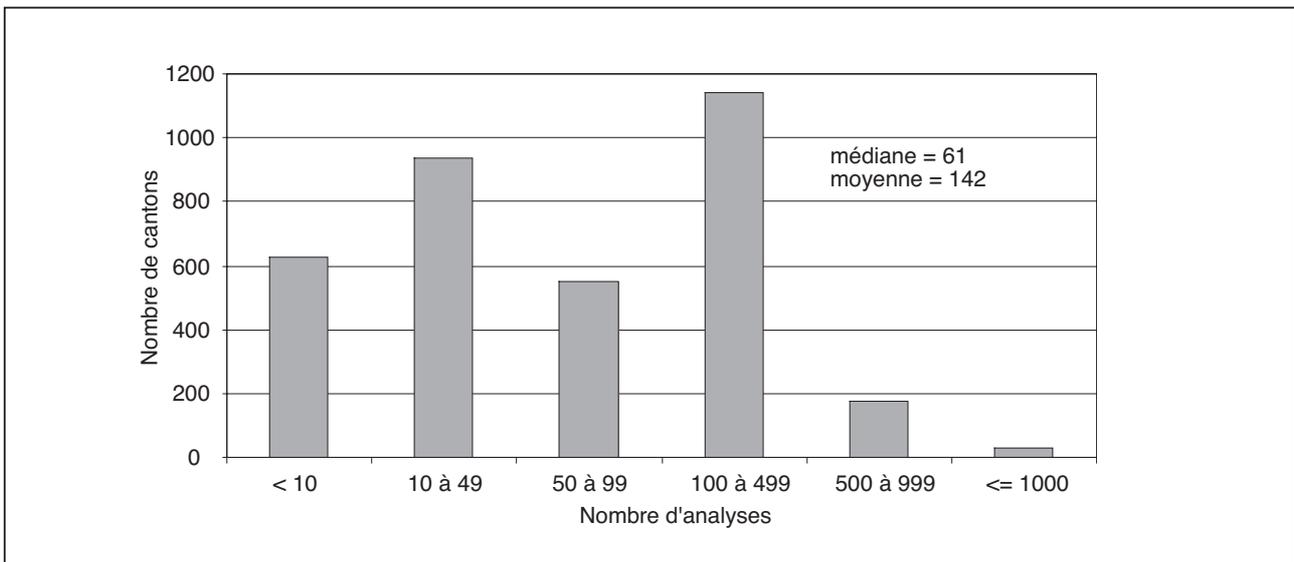
Ainsi, le regroupement des analyses selon un découpage cantonal permet de disposer de résultats pour 3 451 cantons (soit 96 % de l'ensemble). L'information exploitable (au moins 10 analyses par canton) peut se scinder en 2 groupes : 2 800 cantons, soit près de 79 % de l'ensemble, sont exploitables pour les déterminations faites quasi systématiquement (pH, C, P, K, Ca, Mg) tandis que pour les déterminations moins bien renseignées (Calcaire, granulométrie, oligo-éléments), le nombre de cantons tombe à 1 400 (*figure 4*).

La répartition spatiale des résultats d'analyses est peu homogène, la façade ouest Atlantique étant largement mieux renseignée, les régions non agricoles l'étant moins (*carte 1*). Elle est en effet marquée par l'aire d'influence des laboratoires ayant transmis des résultats d'analyses. Cependant, la superficie d'un canton n'étant pas constante, la précision de l'information est mieux rendue par la résolution qui indique la surface théorique correspondant à une analyse. Compte tenu de l'origine essentiellement agricole de ces analyses, la surface prise en considération ici est la SAU du canton en 2000 (RGA, 2000). La résolution paraît un peu plus homogène que la répartition numérique des analyses par canton (*figure 5*). Elle permet notamment de disposer d'une information sur l'échelle de représentation d'une cartographie établie à partir d'une telle

**Figure 3 - Résultats disponibles par détermination (exprimés en pourcentage du nombre d'analyses total)**  
**Figure 3 - Available results for each elementary determination (in percentage of the number of analyses)**



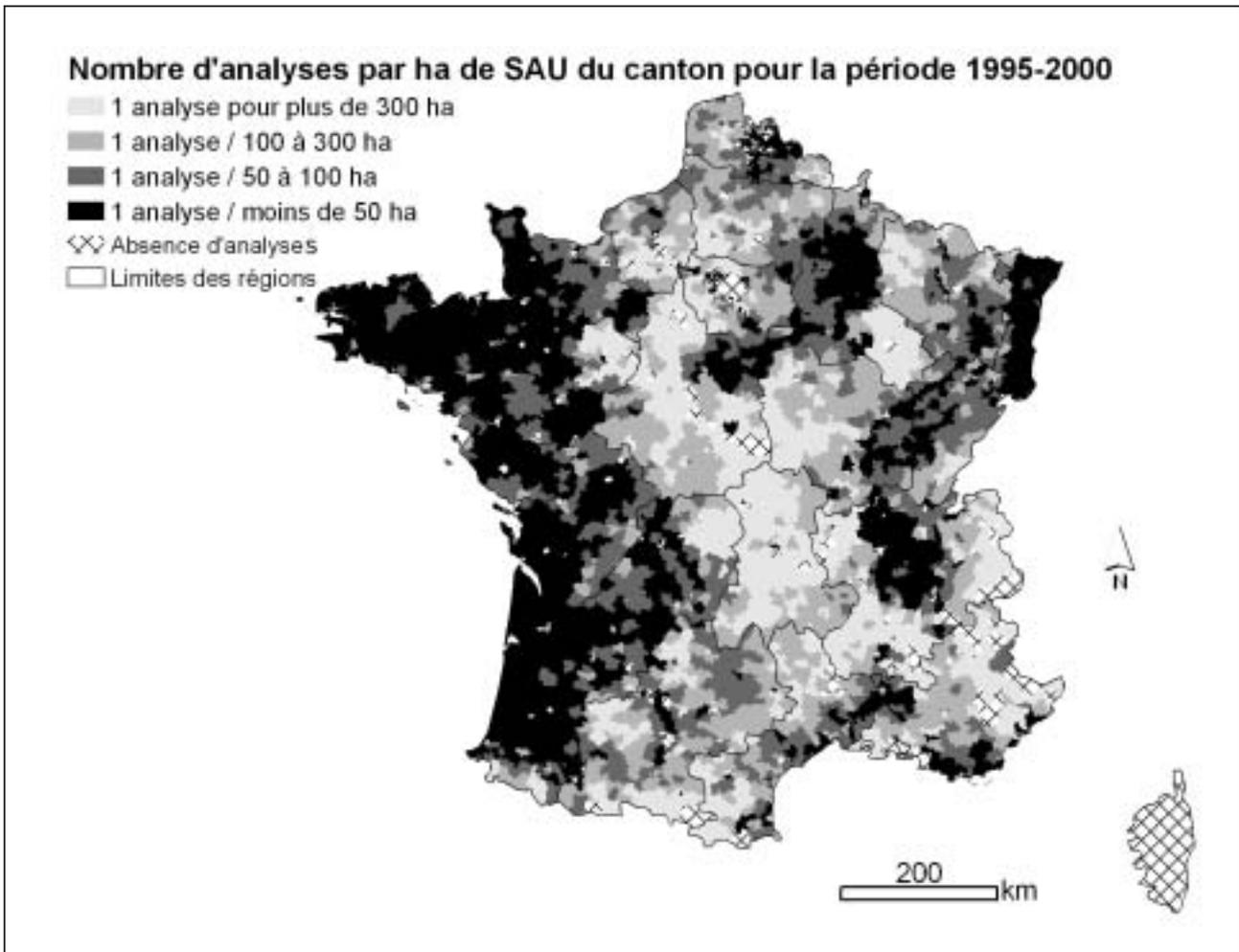
**Figure 4 - Répartition des cantons selon le nombre d'analyses disponibles (les cantons sans analyse ne sont pas pris en compte).**  
**Figure 4 - Repartition of the cantons, according to the number of available analyses (cantons without any analyses are not taken into consideration)**



base de données. Avec 2400 cantons ayant une résolution supérieure à 1 analyse pour 200 ha, c'est 78 % de l'ensemble qui dispose d'une résolution compatible avec les indications données dans le cadre du programme IGCS (IGCS, 1991). Il apparaît que la résolution la plus adaptée à un document cartographique établi à partir de cette base de données reste le 1/250 000.

### Le croisement avec la carte des sols de France au 1/1 000 000

La base de données géographiques des sols de France (King *et al.*, 1994; Jamagne *et al.* 1995) décrit le territoire par un ensemble d'Unités Cartographiques de Sols (UCS) composées chacune d'une

**Figure 5** - Résolution de l'échantillonnage (en fonction de la SAU des cantons (RGA, 2000)).**Figure 5** - Sampling density (in function of the « SAU » of the 'cantons' (RGA, 2000))**Tableau 4** - Variations pour quelques déterminations du nombre de communes disposant d'au moins 10 analyses (parmi les 36 500 communes françaises)**Table 4** - Variations according to the determinations, of the number of communes with at least 10 results (within the 36 500 communes in France)

Déterminations	Nombre de communes disposant d'au moins 10 résultats
Potassium échangeable	11 011
pH eau	10 530
Carbone organique (méthode par oxydation)	10 367
CEC (méthode Metson)	5 101
Argile	1 625

ou plusieurs Unités Typologiques de Sols (UTS). Les UCS sont décrites par des polygones (nombre, emplacements et surfaces) et les UTS (identification, pourcentage de la surface dans l'UCS) qui les constituent. Les UTS sont identifiées par le nom du solum correspondant (classification FAO ou Référentiel Pédologique) et quelques informations de base (texture de l'horizon de surface et de profondeur, pente, régime hydrique, nature du matériau parental...).

Le croisement de la BDAT avec la base de données géographique a été réalisé selon les étapes décrites dans Schwartz *et al.* (1998).

- intersection en mode vectoriel de la couverture IGN des contours des communes françaises (36 668 polygones, 163 062 points de contrôle) avec la carte pédologique numérisée par l'INRA d'Orléans (3515 polygones, 102 000 points de contrôle) ;
- analyse des aires relatives aux différents polygones de la carte

**Tableau 5** - Statistiques générales de différentes propriétés de l'horizon de surface calculées pour l'ensemble des échantillons et pour la stratification cantonale sur la période 1995- 2000

**Table 5** - General statistics of various properties of the surface horizon calculated for all the samples and for the 'cantons' stratification over 1995- 2000 period

	Ensemble des échantillons					Stratification cantonale		
	Effectif	Médiane	Quartiles	Déciles	Type de distribution	Médianes des médianes	Inter décile des médianes	Médiane des interdéciles
pH (eau)	454022	6,6	6 - 7,8	5,6 - 8,2	bimodale (6,15 et 8,05)	6,9	5,9 – 8,1	1,47
Carbone organique en g kg <sup>-1</sup> (oxydation)	454022	15,66	11,05 - 22,03	8,14 - 30,74	lognormale	15,2	9,8 – 27,5	12,4
phosphore en mg kg <sup>-1</sup> (méthode joret-Hébert)	224 299	179	107 - 270	61 - 410	lognormale	165	85 - 351	247
phosphore en mg kg <sup>-1</sup> (méthode Dyer)	213 163	266	152 - 419	80 - 604	lognormale	220	98 - 417	305
CEC en cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> (méthode Metson)	207390	10,27	7,98 - 13,7	6,1 - 18,8	lognormale	10,7	7,15 – 18,2	6,1

pédologique présents au sein d'une commune ;

- affectation de chaque analyse de la BDAT au polygone dominant au sein de la commune d'origine, dès lors que ce polygone représente plus de 90 % de la surface de la commune ;
- rattachement de cette analyse à l'UCS correspondant au polygone.

Ensuite, pour la texture de l'horizon de surface, l'information statistique ainsi acquise peut être confrontée à la texture dominante de l'UCS, renseignée par les experts ayant défini le contenu sémantique de la base de données géographiques des sols de France : cette texture est référée au triangle en 5 classes de la FAO (CEC, 1985).

## RÉSULTATS

Les résultats s'organisent en 3 parties. Les descriptions statistiques pour quelques déterminations sont fournies pour la période 1995-2000 qui correspond à la nouvelle collecte. Dans un deuxième temps, les résultats des 2 collectes (1990-1994 et 1995-2000) ont été rassemblés afin de fournir une description statistique pour des variables jugées stables dans le temps. Enfin, les résultats du croisement avec la base de données géographique des sols de France au 1/1 000 000 sont présentés.

### Nouvelle cartographie 1995-2000 des propriétés de l'horizon de surface

### Les statistiques générales

Le *tableau 5* fournit une description pour la période 1995-2000 des ordres de grandeur et de la variabilité des déterminations principales. Ce tableau est organisé en 2 parties : il donne d'abord les effectifs et les statistiques pour l'ensemble des échantillons, puis fournit des critères statistiques issus du découpage cantonal pour caractériser les variabilités inter et intra-cantonales.

La médiane des interdéciles est plus faible que l'interdécile général pour l'ensemble des déterminations retenues. La différence la plus importante correspond à la CEC puis au carbone organique, indiquant une variabilité intra-cantonale plus forte pour ces paramètres.

### Le carbone organique exprimé en g. kg<sup>-1</sup>

454 022 échantillons ont été rassemblés pour la période 1995 – 2000 permettant de disposer dans une majorité des situations, de plus de cinquante déterminations par canton. Cependant, le centre et le nord ouest de l'île de France sont peu représentés. Les teneurs en carbone organique varient selon une distribution lognormale avec une médiane de 15,7 ‰, soit environ 27 % de matière organique (*tableau 5*). L'histogramme des médianes cantonales suit une allure similaire avec néanmoins une dispersion moindre.

La *carte 1* permet de discerner différents domaines avec les caractéristiques suivantes :

- Des médianes faibles avec une dispersion faible (l'Aquitaine, la vallée du Rhône, l'Alsace, l'Aude). Les teneurs médianes sont inférieures à 12 ‰ avec des quartiles inférieurs de l'ordre de 10 et avec des quartiles supérieurs inférieurs à 15 ‰.

- Des médianes moyennes avec une dispersion moyenne (le pourtour du Bassin Parisien, l'Ille-et-Vilaine, la Loire-Atlantique, les Deux-Sèvres, le Périgord). Les teneurs médianes sont de l'ordre de 15 ‰ avec des quartiles inférieurs de l'ordre de 12 et des avec quartiles supérieurs inférieurs à 18 ‰.
- Des médianes élevées avec une dispersion forte (l'ouest du Massif Armoricaire, la Normandie, le nord des Charentes, le Massif Central, le Jura, les Vosges). Les teneurs médianes sont supérieures à 18 ‰ avec des derniers quartiles supérieurs à 24 ‰.

La carte du carbone fait apparaître clairement les grands effets texturaux, minéralogiques et climatiques (en particulier les fortes teneurs liées aux climats froids (Jura) et/ou aux sols allophaniques (Massif Central). Les effets de quelques grands types d'usage sont également très visibles (faibles teneurs dans les zones de grandes cultures intensives du bassin parisien, effets des vignes et vergers dans le Bordelais, le Languedoc Roussillon et le sillon rhodanien, teneurs plus élevées en zones bocagères ou à dominante prairiale). On peut également discerner de fortes teneurs liées à certains sols très calcaires et en règle générale peu profonds (Champagne, groies et terres de Champagne des Charentes). On observe certaines différences avec la carte des stocks de C des sols de France produite par Arrouays *et al.* (2001). Ces différences se situent en Champagne, dans les landes de Gascogne, ainsi que dans le sud de la région PACA. Plusieurs explications peuvent être évoquées :

- la carte des stocks d'Arrouays *et al.* (2001) prend en compte des calculs statistiques regroupant toutes les occupations du sol, alors que dans notre échantillonnage les sols forestiers sont clairement sous-représentés, ainsi que les prairies et pelouses d'altitude.
- Les stocks et les teneurs ne sont pas directement comparables dans les sols peu épais et dans les sols contenant des éléments grossiers.

### Le pH

La population totale (454 022 échantillons) présente une distribution bimodale avec un premier mode à 6,15 et un second mode à 8,05 : les sols agricoles de pH supérieur à 7 représentent 36 % des échantillons disponibles.

Les cartes présentent des tendances régionales connues en ce qui concerne l'ambiance chimique des sols de France (carte 2). Les sols les plus acides sont localisés dans les massifs cristallins, les Landes et la Sologne. Les grandes zones calcaires se distinguent nettement.

### La CEC exprimée en $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$

Avec une population de 207 390 déterminations, la nouvelle collecte a permis de rassembler près de 30 % de déterminations de la CEC de plus que la première collecte. Cependant, la couverture spatiale de la CEC n'est pas exhaustive. Seuls la Bretagne, la Normandie, l'Aquitaine, le nord et l'est de la France sont couverts. La carte de la CEC illustre les grandes tendances texturales, du pH et du carbone organique des horizons de surface des sols de France : faibles

CEC dans les grands domaines à dominante sableuse (Landes de Gascogne, Sologne, Vendée et Loire Atlantique, Bresse), fortes CEC sur les sols limono-argileux à argileux (Lorraine, Beauce, Côte d'Or, Jura, sols sur Molasses du Lot et Garonne) (figure 6).

### Le phosphore extractible exprimé en $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de $\text{P}_2\text{O}_5$

437 462 déterminations du phosphore extractible, mesuré selon les méthodes Dyer ou Joret-Hébert, sont disponibles dans la base de données. Le choix de l'une ou l'autre méthode doit être guidé par le pH du sol (Baize, 2000). Cependant, il semble qu'il soit fixé de façons légèrement différentes selon les laboratoires (cartes 3 et 4). Il est frappant de remarquer le faible recours à la mesure du phosphore par la méthode Olsen (figure 2).

Pour les 2 méthodes, les teneurs et les médianes varient dans la population générale selon une distribution lognormale avec une étendue très grande, de quelques dizaines à quelques milliers de  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

En dépit de la variabilité intra-cantonale importante illustrée par la forte dissemblance des cartes des quartiles, les cartes présentent néanmoins de grandes tendances régionales. C'est le cas en particulier des teneurs fortes en zones d'élevage intensif. On peut aussi citer des aspects liés aux histoires régionales du développement agricoles et à la pratique de la fertilisation (Nord-Pas-de-Calais).

## Intégration 1990-2000 de données peu variables dans le temps

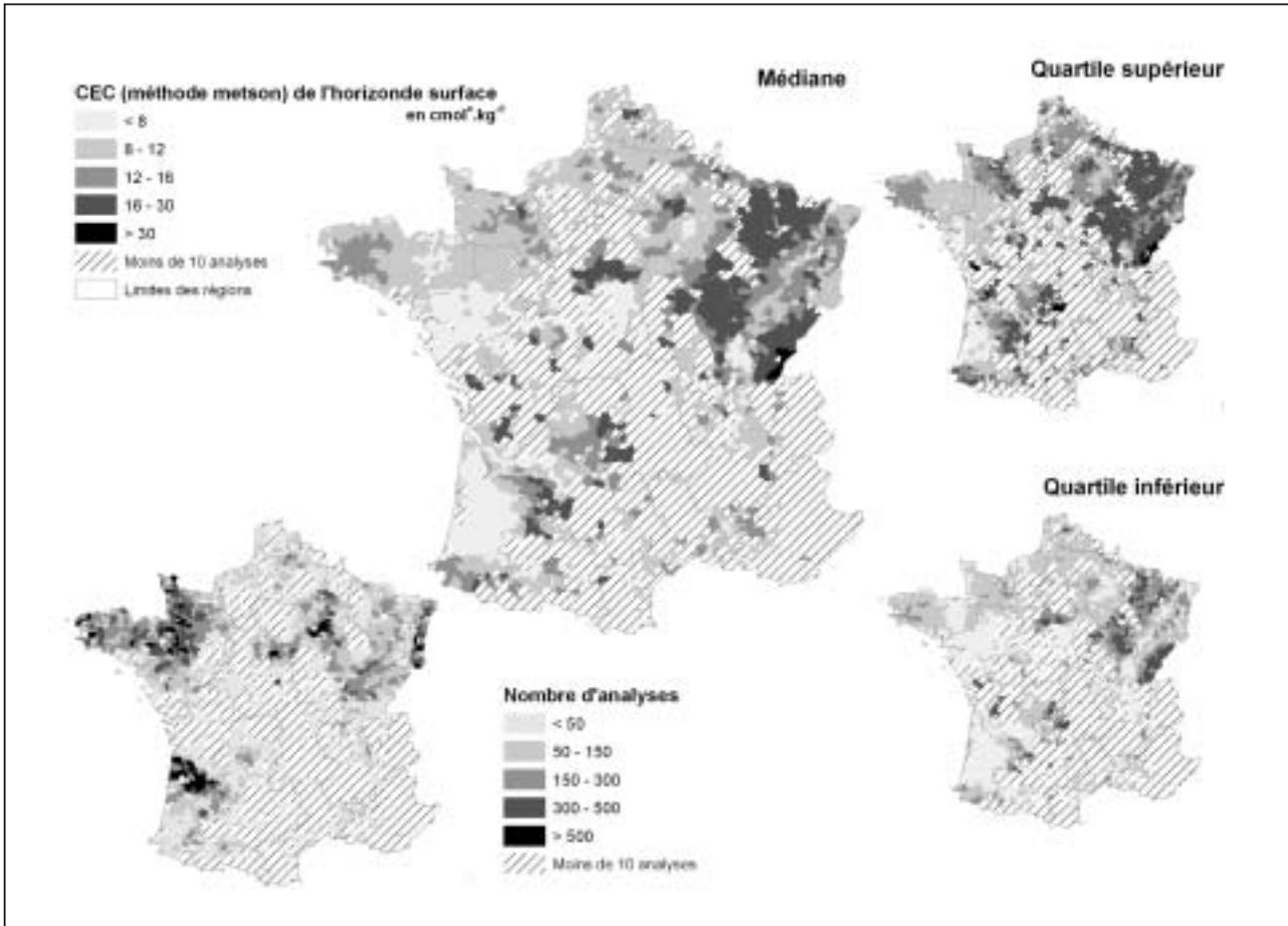
Les statistiques générales des propriétés granulométriques sont consignées dans le tableau 6. Comme pour les statistiques sur la première période 1995-2000, les calculs sont effectués pour l'ensemble des échantillons, d'une part, et pour le découpage cantonal, d'autre part.

Les 183 505 échantillons disposant d'une teneur en argile ont une structure spatiale sur une grande distance similaire à celle décrite par Walter *et al.* (1997) (figure 7). On distingue ainsi 3 groupes de régions. Le premier groupe prépondérant présente des médianes comprises entre 150 et 250 ‰ (le nord, l'ouest, le Limousin, le nord-est du Massif Central, le couloir rhodanien et l'Alsace). Dans ce groupe, les quartiles inférieurs sont de l'ordre de 150 ‰ et les quartiles supérieurs de 250 à 300 ‰. Le second groupe correspond à des régions où les médianes sont inférieures à 100 ‰ (Sologne, Landes, Vendée). Enfin, un troisième groupe se distingue par des médianes élevées proches de 400 ‰.

Une vision synthétique des variations granulométrique est fournie par la carte des textures (figure 8) selon le triangle GEPPA simplifié (Baize, 1988). Les deux classes les plus fréquentes sont représentées pour chaque canton et la proportion des échantillons appartenant à la classe modale est donnée. Cette proportion est un indicateur de la variabilité intra-cantonale de la texture. Ces cartes des textures regroupent les grandes structures observées à l'analyse de la carte de la teneur en argile. Elles présentent surtout de

**Figure 6** - Cartes cantonales de la CEC de l'horizon de surface, déterminée par la méthode Metson (AFNOR, 1996).

**Figure 6** - Maps of the CEC of the topsoil, determined by the Metson method (AFNOR, 1996): median, lower and upper quartiles for the 'cantons' with more than ten samples



grandes analogies avec la carte des textures de surface dérivée de la carte pédologique au 1/1 000 000 de France (Jamagne *et al.*, 1995).

### Comparaison avec la carte des sols au 1/1 000 000

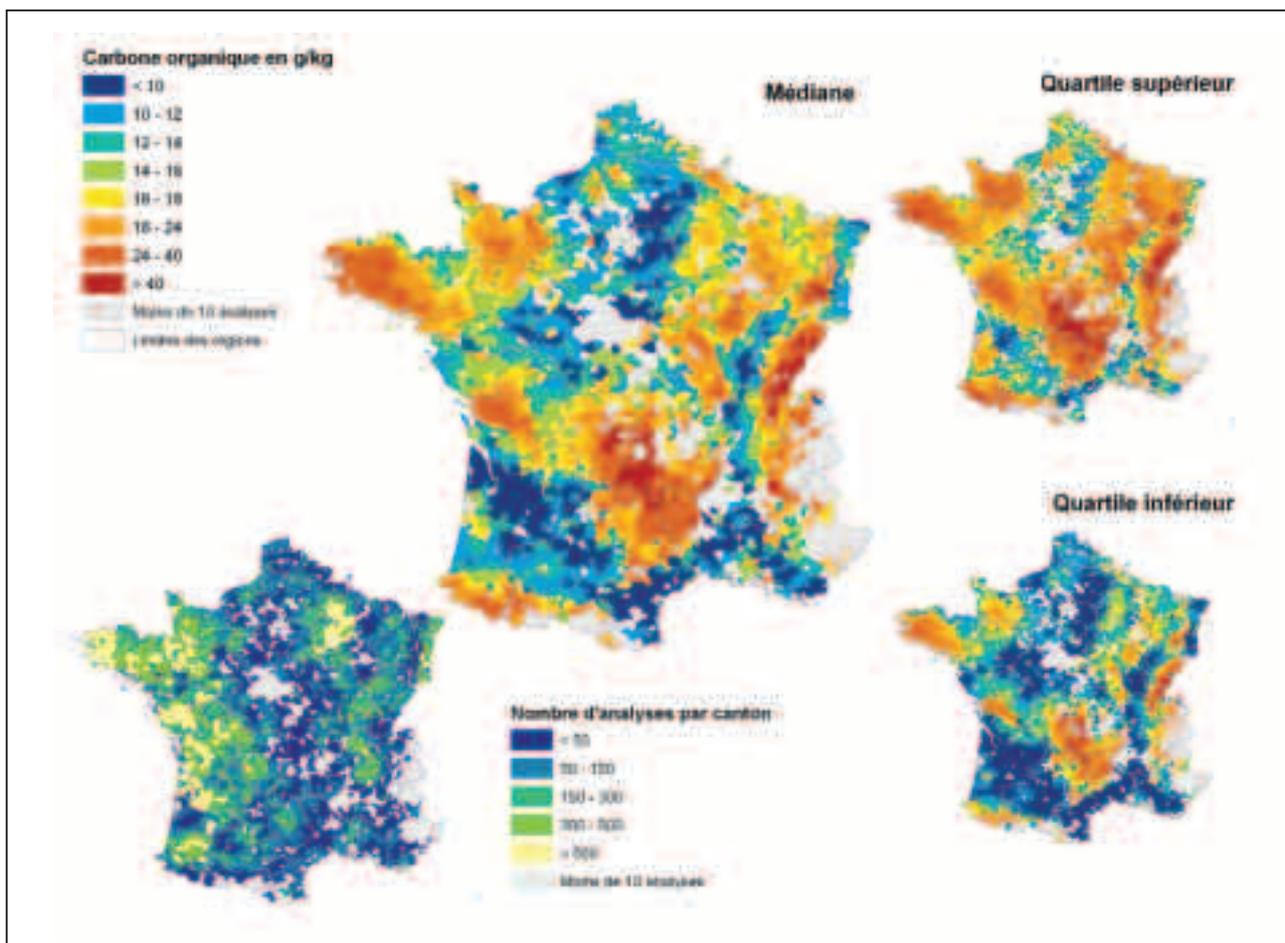
Le croisement de la carte des contours communaux et de la carte pédologique montre que seulement 36 % des communes ont une UCS dominante occupant plus de 90 % de leur superficie. La prise en compte de ce seuil de 90 %, choisi pour limiter l'erreur de rattachement d'une analyse de terre à un polygone de la carte des sols, conduit ainsi à rejeter 67 % des analyses disponibles dans la BDAT pour la période 1995-2000. Ce rattachement a lieu de façon préférentielle dans le cas de polygones de la carte des sols de grande taille ou de communes de faible superficie. Ainsi, selon les déterminations, de 10 à 20 % des polygones de la carte pédologique ou encore la moitié des UCS sont renseignés avec un effectif minimal

de 10 analyses : par exemple, 341 polygones et 135 UCS sont renseignés par 21 794 déterminations de la teneur en argile ou 815 polygones et 213 UCS sont renseignés par 151 794 déterminations du pH eau.

Le *tableau 7* fournit les résultats de la comparaison de la texture de surface dominante d'une UCS issue de la base de données géographique des sols de France à celle apparue modale à partir des analyses de la BDAT rattachées à cette UCS. Cette comparaison est possible pour 208 UCS. Pour 46 % de ces dernières, les deux approches convergent. Dans les autres cas, les différences proviennent surtout de la classe de texture « moyenne ». Celle-ci est en effet plus représentée dans les classes de texture calculées à partir de la BDAT. Ainsi, 142 UCS sont données en texture « moyenne » à partir de la BDAT contre 88 UCS selon la carte pédologique. Cette dernière semble avoir tendance à redistribuer les textures au sein du triangle texturale de façon plus étendue que l'approche statistique de la BDAT. Parmi les explications à cette différence, nous

**Carte 1** - Cartes cantonales de la teneur en carbone organique de l'horizon de surface.

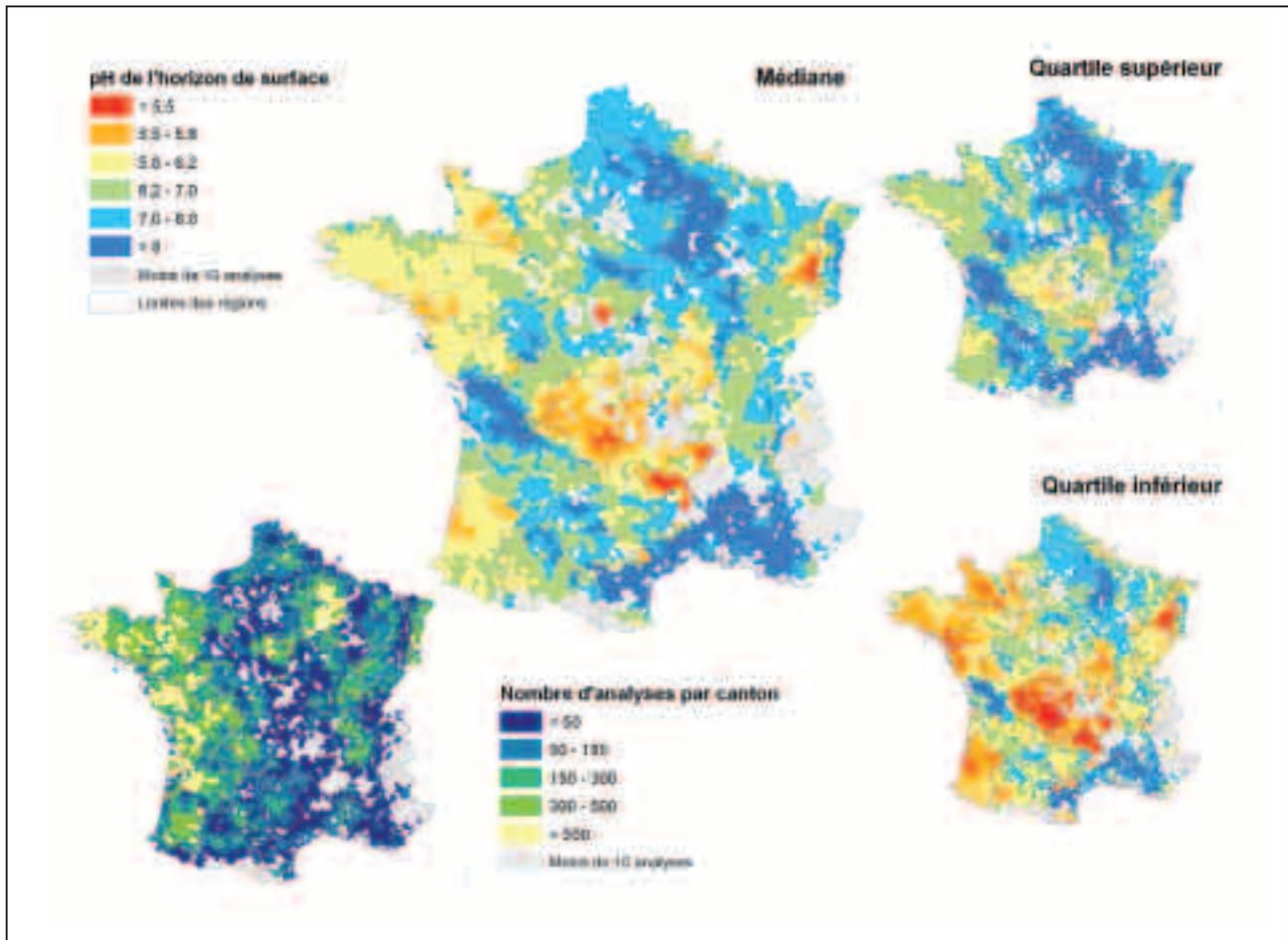
**Map 1** - Maps of the organic content of the topsoil: median, lower and upper quartiles for the 'cantons' with more than ten samples



**Tableau 7** - Tableau de contingence, pour 208 UCS renseignées, de la classe texture (triangle FAO) dominante selon la base de données géographique des sols de France et de la classe de texture modale selon l'approche statistique.

**Table 7** - Contingency table of the dominant textures class (FAO classification) according to the soil geographic database of France and the modal texture class according to the statistical approach calculated for 208 well informed UCS.

Classe de texture dominante des analyses de la BDAT rattachées		Classe de texture dominante au sein de l'UCS selon la carte pédologique				
		Grossière	Moyenne	Moyenne fine	Fine	Très fine
aux UCS	Nombre d'UCS	(41)	(88)	(42)	(27)	(0)
Grossière	(11)	6	3	2	0	0
Moyenne	(142)	32	73	22	14	0
Moyenne fine	(23)	2	6	11	4	0
Fine	(23)	1	6	7	9	0
Très fine	(0)	0	0	0	0	0

**Carte 2 - Cartes cantonales du pH de l'horizon de surface****Map 2 - Maps of the pH of the topsoil: median, lower and upper quartiles for the 'cantons' with more than ten samples**

pouvons évoquer: (1) une exagération possible des contrastes par les experts ayant constitué la base de données géographiques des sols de France, ou bien (2) une répartition différente des textures entre la France entière et les sols cultivés.

## DISCUSSION

### La procédure de constitution d'une base de données

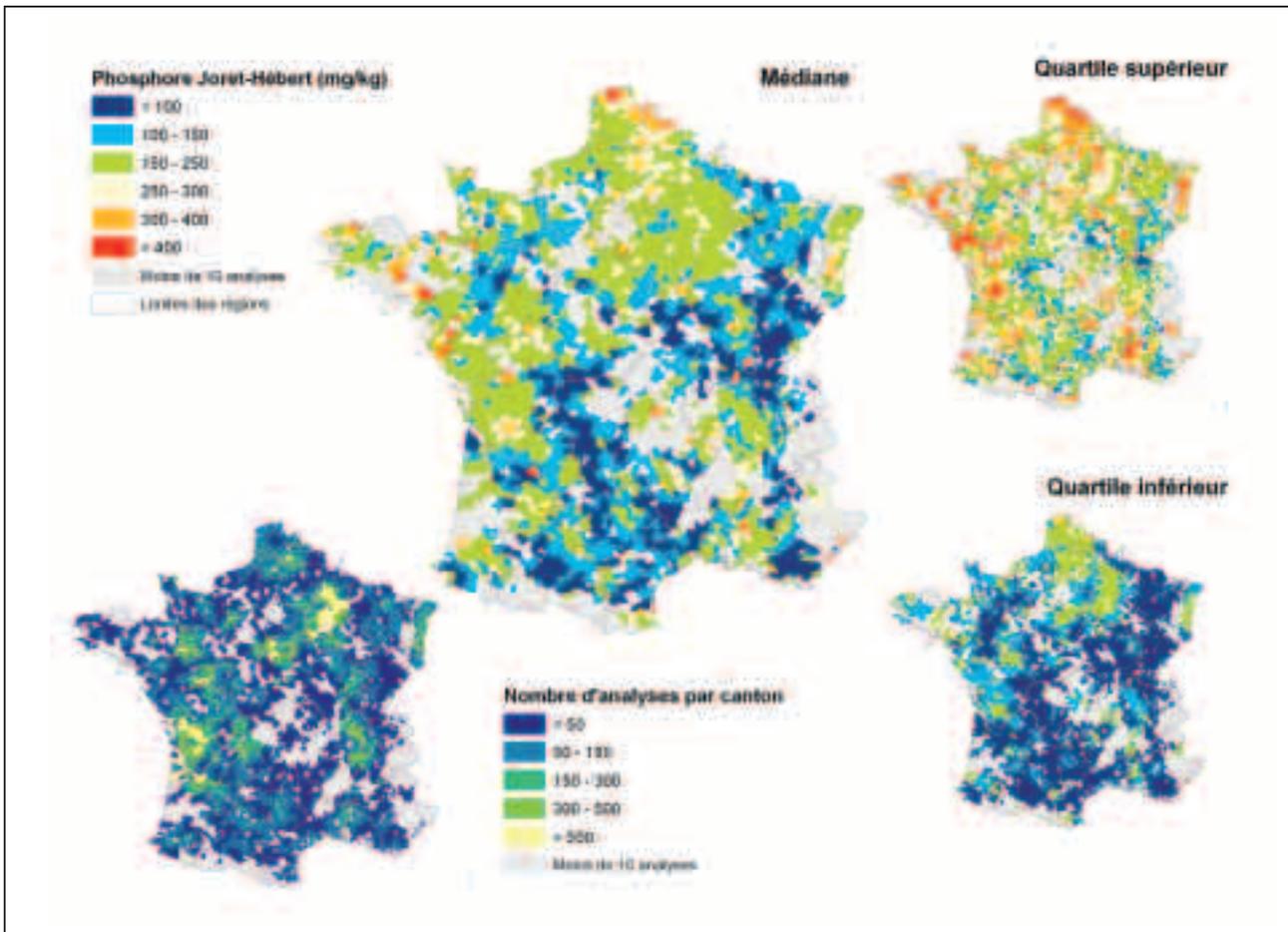
Les analyses de terre réalisées à la demande des agriculteurs dans des laboratoires agréés utilisant les mêmes protocoles analytiques, constituent une source d'information très importante sur la variabilité spatiale des sols cultivés.

L'expérience acquise dans ce domaine en France à l'issue de plusieurs campagnes de recueil de données, a montré l'intérêt de

mettre au point une procédure codifiée: l'ensemble des étapes, à savoir le recueil des données auprès des laboratoires agréés dans le cadre d'une convention, le contrôle et l'homogénéisation des résultats d'analyse, leur intégration dans une base de données et l'exploitation statistique des données, sont à présent clairement établies. Ces étapes successives sont mises en œuvre par trois laboratoires oeuvrant pour le GIS Sol, dont la collaboration permet une validation croisée des démarches et des résultats obtenus. Il est intéressant de noter que la France dispose dans ce domaine d'une antériorité certaine par rapport à d'autres pays qui ont mis en place une démarche analogue (Skinner *et al.*, 1998; Bui E *et al.*, 2003), mais surtout que cette démarche y est particulièrement efficace pour deux raisons principales: d'une part, les procédures d'agrément des laboratoires, mises en place dès les années 1980, permettent aujourd'hui de disposer d'un réseau de laboratoires mettant en œuvre de façon fiable les mêmes méthodes normalisées, ce qui permet de regrouper leurs données; d'autre

**Carte 3** - Cartes cantonales du phosphore assimilable de l'horizon de surface, déterminée par la méthode Joret-Hébert (AFNOR, 1996)

**Map 3** - Maps of the available phosphorus of the topsoil, determined by the Joret-Hébert method (AFNOR, 1996): median, lower and upper quartiles for the 'cantons' with more than ten samples



part, le nombre d'analyses de terre réalisé paraît relativement important si on le ramène à la surface cultivée, même si cette densité est très variable d'une région à l'autre.

### Les premiers acquis de la campagne 1995-2000

Les acquis de la campagne 1995-2000 dont nous présentons ici les premiers résultats sont principalement de deux ordres :

#### **Une confirmation des acquis de la campagne précédente (Walter et al., 1997)**

La synthèse actuelle révèle les mêmes structures spatiales de très grande portée de l'ordre de la dizaine à la centaine de kilomètres. Certes, l'essentiel des structures spatiales mises en évidence était déjà connu à travers les synthèses pédologiques existantes, en particulier celles concernant les constituants du sol (granulométrie, pH, CEC, état calcique, teneur en calcaire). Mais les deux synthèses nationales d'analyses de terre actuellement

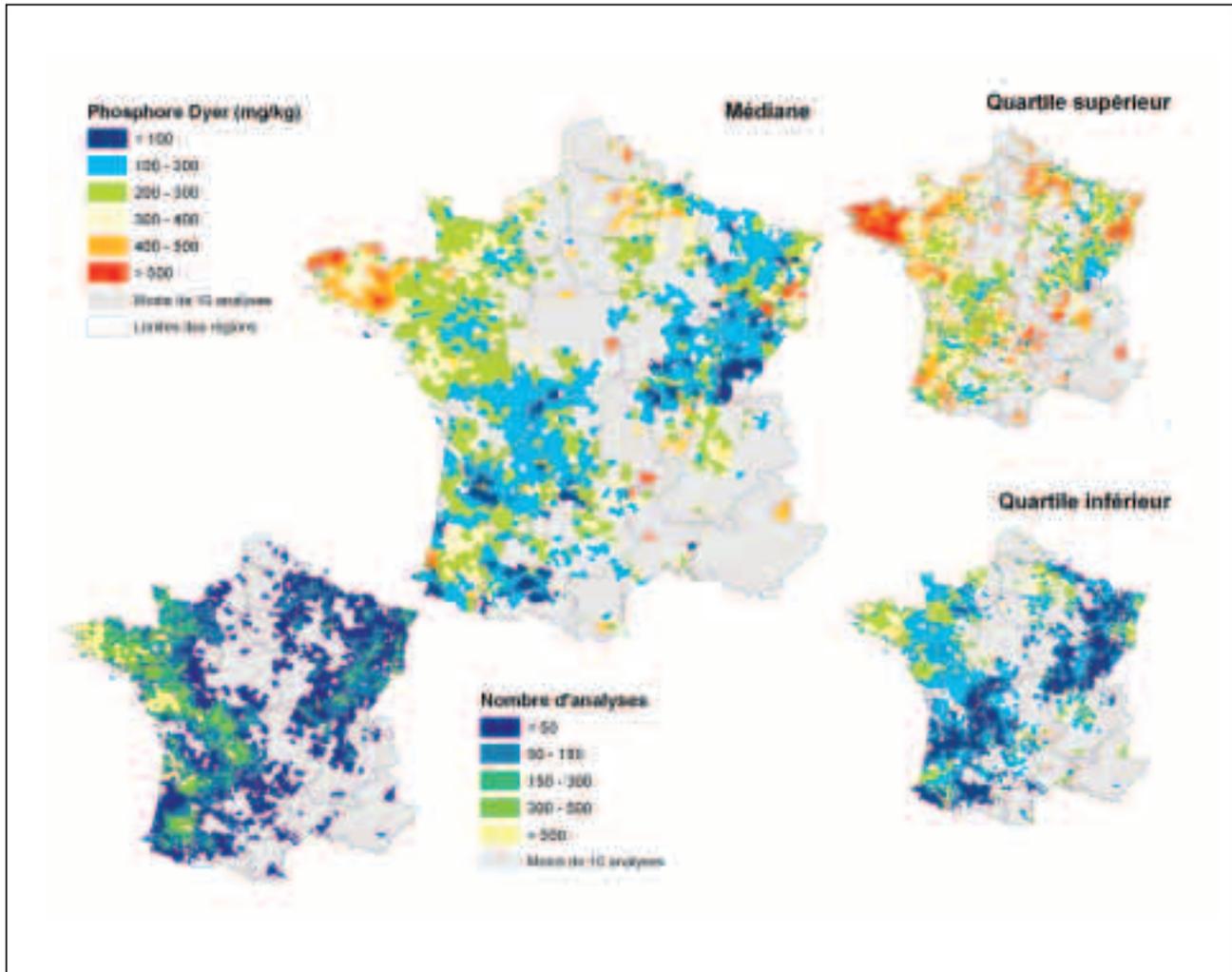
disponibles permettent pour la première fois une caractérisation quantitative de ces structures, en décrivant non seulement leurs valeurs médianes et moyennes mais également leur variabilité interne. Il apparaît remarquable d'aboutir à l'identification de telles structures spatiales par une simple agrégation d'analyses échantillonnées de façon indépendante, avec des historiques de parcelles vraisemblablement très divers.

#### **Une cartographie plus exhaustive du territoire national**

Les cartographies statistiques de la dernière campagne couvrent de façon plus complète la France, en particulier dans la région Normandie, le couloir rhodanien ou encore le sud-est de la France. Cette amélioration est permise d'une part, par une participation plus large des laboratoires qui a permis de disposer de davantage d'analyses (490 000 sur la période 1995-2000 contre 300 000 sur la période précédente), d'autre part, par la possibilité de combiner les jeux de données de périodes différentes pour des propriétés

**Carte 4** - Cartes cantonales du phosphore assimilable de l'horizon de surface, déterminée par la méthode Dyer (AFNOR, 1996)

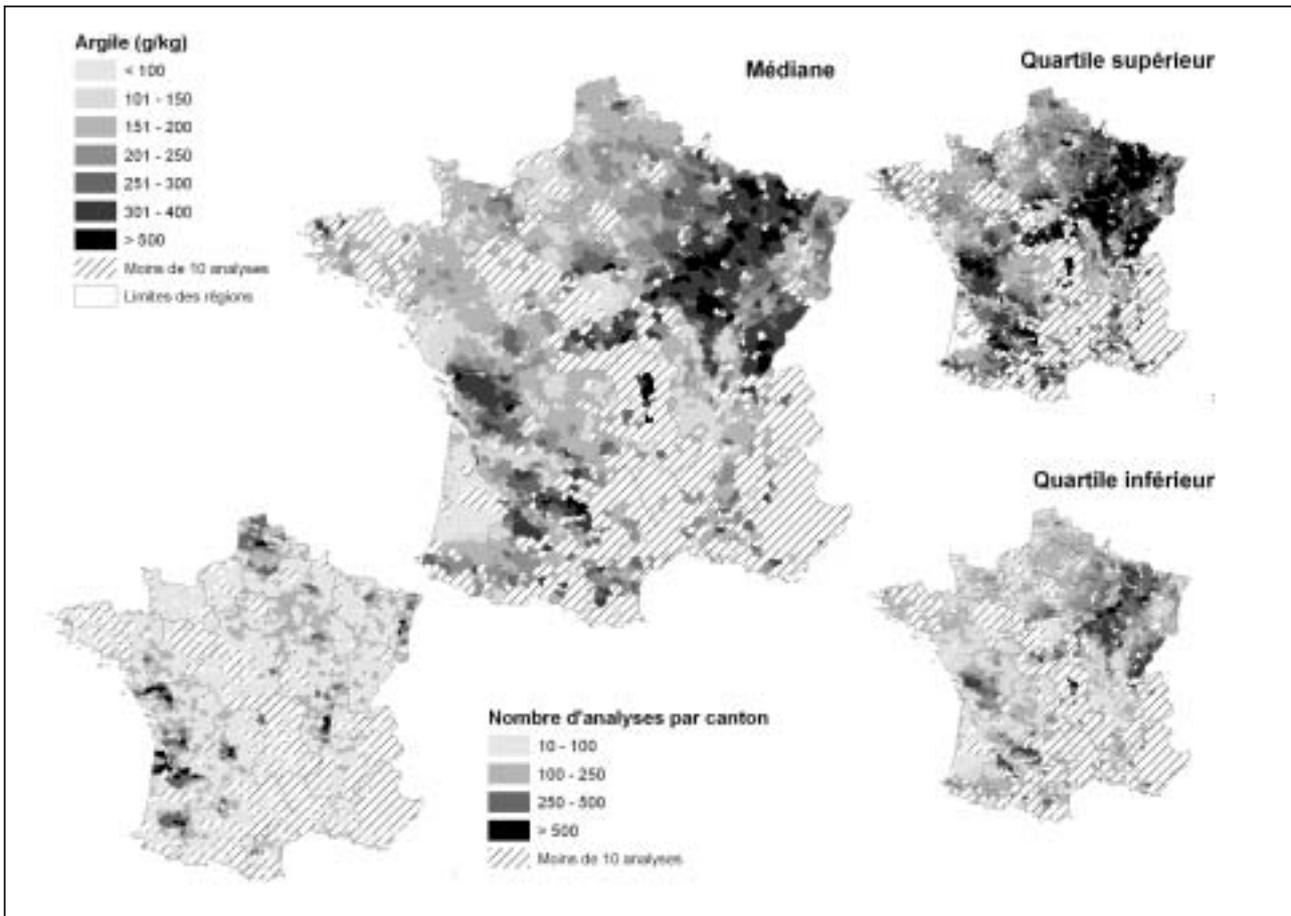
**Map 4** - Maps of the available phosphorus of the topsoil, determined by the Dyer method (AFNOR, 1996): median, lower and upper quartiles for the 'cantons' with more than ten samples



**Tableau 6** - Statistiques générales de différentes propriétés de l'horizon de surface calculées pour l'ensemble des échantillons et pour la stratification cantonale sur la période 1990- 2000. (LF/LG = rapport limons fins sur limons grossiers)

**Table 6** - General statistics of various properties of the surface horizon calculated for all the samples and for the 'cantons' stratification over 1990- 2000 period. (LF/LG = ration between fine and coarse silt)

	Ensemble des échantillons					Stratification cantonale		
	Effectif	Médiane	Quartiles	Déciles	Type de distribution	Médianes des médianes	Inter décile des médianes	Médiane des interdéciles
Argile (g/kg)	183 505	188	141 - 268,7	102 - 376	unimodal (255)	188	125 - 335	162
Limons totaux (g/kg)	163 340	460	327,6 - 609,6	216,9 - 721,9	bimodal (420 et 617)	474	299 - 686	274
Sables totaux (g/kg)	149 858	288	143 - 486,6	74 - 658,6	-	239	88 - 528	
LF/LG	163 340	1,1	0,69 - 1,64	0,52 - 2,37	-	1,13	0,57 - 2,12	0,97

**Figure 7 -** Cartes cantonales de la teneur en argile de l'horizon de surface**Figure 7 -** Maps of the clay content: median, lower and upper quartiles for the 'cantons' with more than ten samples

pérennes : les cartes des fractions granulométriques ont en particulier bénéficié de cette association des jeux de données.

### Les limites d'une base de données d'analyse de terre

Une base de données d'analyse de terre présente des limites qu'il est utile de rappeler et qui justifient le fait qu'il s'agit principalement d'un outil complémentaire d'autres programmes de cartographie et de surveillance des sols :

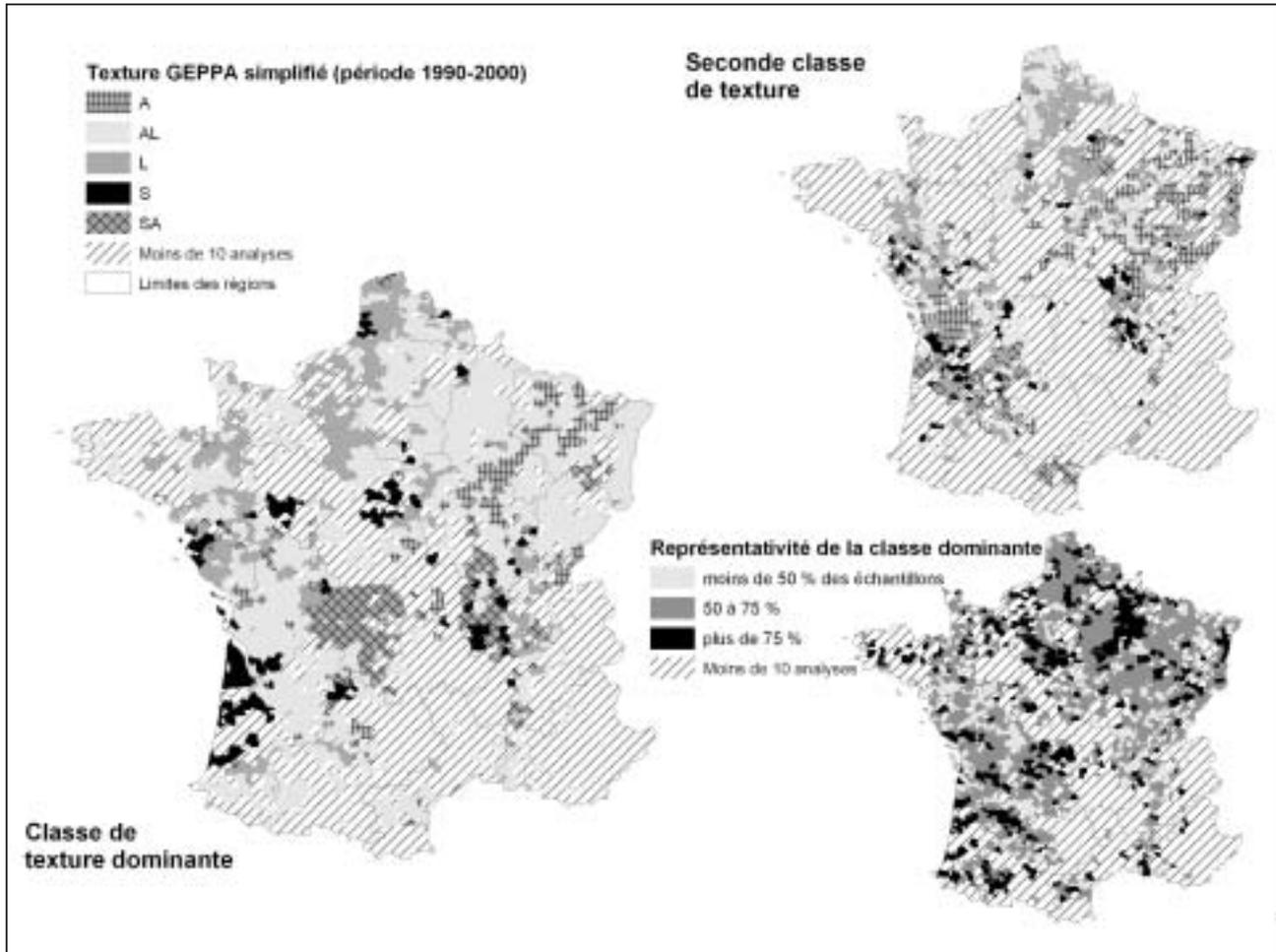
- en premier lieu, seuls des horizons de surface sont caractérisés et de plus uniquement par des analyses agronomiques, dont l'objectif est d'évaluer l'aptitude des sols à assurer la nutrition minérale des plantes. L'utilisation de ces données dans une optique de caractérisation globale des sols est donc difficile ; par ailleurs, il n'est pas possible d'évaluer des stocks totaux d'éléments dans les sols, ce qui serait plus intéressant dans une optique environnementale que l'estimation des stocks d'éléments assimilables par les plantes. En particulier, la prise en compte des données d'analyse de terre pour évaluer les risques liés à l'accumulation d'élé-

ments traces dans les sols présente un faible intérêt (Baize, 1997)

- ensuite, il est difficile de croiser la BDAT avec d'autres documents cartographiques. La comparaison avec la carte pédologique au 1/000 000 de la France a montré la difficulté d'affecter des données statistiques de la BDAT à des unités cartographiques de la carte pédologique. La raison est liée aux effets du croisement géométrique des contours des communes avec ceux de la carte pédologique : pour limiter les risques de mauvaise allocation d'une analyse à une unité cartographique, on est amené à rejeter une proportion très grande, de l'ordre de 60 %, des analyses disponibles. Deux voies sont envisageables pour lever cette difficulté méthodologique : (i) assurer un meilleur positionnement géographique des analyses de terre, ce qui est techniquement envisageable, mais peut heurter la garantie d'anonymat du demandeur initial de l'analyse ; (ii) utiliser l'information contenue dans l'analyse de terre proprement dite pour rattacher celle-ci à une unité cartographique.

**Figure 8** - Cartes cantonales de la texture de l'horizon de surface selon le triangle GEPPA simplifié (BAIZE, 1988) : texture modale, fréquence de la texture modale, classe de texture de rang second

**Figure 8** - Maps of the surface texture according to simplified GEPPA triangle (Baize, 1988) : modal class of texture, frequency of the modal class, second class.



Cet exemple souligne également les risques d'erreur associés à la démarche inverse couramment pratiquée, à savoir le transfert des informations de cartes pédologiques existantes vers d'autres bases géographiques fondées en particulier sur des découpages administratifs, des limites de bassin versant...

- la comparaison temporelle des résultats de différentes campagnes doit être faite avec précaution. Il est tentant d'analyser les évolutions temporelles des propriétés des sols en comparant des jeux de données disponibles à différentes périodes. Ce type de comparaison a rarement été réalisé et on peut dire que l'évolution des propriétés des sols au cours des 40 dernières années, que l'on sait pourtant très importante, en particulier sur le plan chimique (Coppenet *et al.*, 1993), est très peu documentée (Cheverry, 1994). En faisant l'hypothèse d'une distribution aléatoire des échantillons au sein des communes et d'une indépendance de

l'échantillonnage entre les deux périodes, il est possible de réaliser des comparaisons statistiques pour déceler ou non des évolutions (Walter, 1995). Néanmoins, les variations temporelles sont nettement plus faibles que les variations spatiales, d'un ou plusieurs ordres de grandeur : à titre d'exemple, la différence des teneurs moyennes en matière organique par commune varie de 0,1 et 0,5 % entre deux périodes alors qu'à une date donnée, des différences de 0,1 et 6 % s'observent d'une commune à l'autre. L'évolution temporelle est de ce fait plus difficile à caractériser et sa quantification par des bases de données d'analyse de terre doit être conduite avec prudence en raison des biais possibles, liés surtout à la non-maîtrise de l'échantillonnage. Seul un dispositif analogue au Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (Arrouays *et al.*, 2003), permet des estimations non biaisées des évolutions temporelles. La BDAT peut venir en support d'un tel

réseau, grâce à ses effectifs très importants d'analyse qui donnent une robustesse aux analyses statistiques, pour confirmer des tendances d'évolution.

## Les perspectives de développement

### La mise à disposition de l'information

Les statistiques cantonales vont être mises librement à disposition en utilisant les nouveaux outils d'interrogation de bases de données adaptés à internet. L'expérience précédente a montré qu'il existait une forte demande pour des données cartographiques de ce type, en particulier en raison de l'image exhaustive du territoire nationale qui est fournie. Il s'agit souvent de demandes éducatives, mais également dans l'optique d'alimenter des modèles (par exemple de risques de transfert de pesticides) ou de procéder à des évaluations nationales (par exemple estimer les besoins en amendements organiques) (Roussel *et al.*, 2001) ou évaluer les superficies de sols inaptes aux épandages de boues de station d'épuration (Thorette et Schwartz, 2001)

### L'identification des déterminants

L'agrégation de données fortement variables au sein d'une base de données dont le découpage relativement grossier repose sur des limites administratives, aurait pu conduire à des cartes en patchwork, peu structurées. L'existence de grandes tendances régionales est donc à noter, car elle traduit le poids de grands facteurs sur les propriétés du sol : (i) la géologie : par exemple, les sols développés sur des formations jurassiques apparaissent très différents pour de nombreuses propriétés ; (ii) le climat : dont le rôle semble important dans les cartes de matière organique ; (iii) les grands types de systèmes de production, perceptibles dans les cartes de teneur en éléments fertilisants, en matière organique. Une étude des relations spatiales entre les structures observées dans la BDAT et ces déterminants probables est entreprise.

## CONCLUSION

Les synthèses d'analyses de terre permettent d'étudier la variabilité spatiale des propriétés des sols fortement modifiées par l'activité humaine, ce que ne permettent pas les démarches pédologiques classiques.

La démarche adoptée consiste, par voie d'enquête et à moindres frais, à compiler de nombreux résultats analytiques datés et localisés, qui permettent d'obtenir une vision globale de l'ensemble d'un territoire et de dégager des tendances. Elle vient en complément de démarches expérimentales ou de programmes de cartographie et de surveillance, mieux à même de caractériser les sols dans leur globalité et de déceler leurs évolutions.

Il faut donc limiter l'apport de cette approche à une description quantitative des variations de l'horizon de surface sur des surfaces très importantes, ce qui est déjà un acquis très important et ouvre la voie à une meilleure prise en compte de la variabilité des sols dans

toutes les démarches d'évaluation des risques environnementaux, impliquant ou concernant les sols.

## REMERCIEMENTS

Le programme BDAT est financé par le Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (MAAPAR, MEDD, ADEME, IFEN, INRA). Nous remercions l'ensemble des laboratoires qui ont bien voulu participer à ce programme en fournissant les données : SAA, LCA, LDA 22, LACO, AGRILABO, COOPAGRI 29, Europe Sols, LCA, LDA 35, LDA 37, LDA 41, CANA, IDAC, LDA 45, LANO, CAMA, CAM, LVD, LDA 56, INRA ARRAS, CACG, SADEF, LDA 71, LARCA 72, EDE 87.

## BIBLIOGRAPHIE

- Arrouays D., Deslais W., Badeau V., 2001 - The carbon content of topsoil and its geographical distribution in France. *Soil Use and Management* 17(1): pp. 7-11.
- Arrouays D., Jolivet Cl., Boulonne L., 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*, vol. 10 (4). pp. 241-250
- Bui EN, Moran CJ, Henderson BL., 2003 - Synthesis studies: how to make the most of existing soil data. *Australian Soil and Land Survey Handbook - Guidelines for Conducting Surveys*. Eds AJ Ringrose-Voase, NJ McKenzie and M Grundy, CSIRO Publishing, Melbourne.
- Baize D., 2000 - Guide des analyses en pédologie. INRA ed., Paris, 257 pages.
- Baize D. 1997 - Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). Références et stratégies d'interprétation. INRA Éditions, Paris. 410 pages.
- Chevry C., 1994 - La dégradation chimique des sols en Bretagne. *Etude et gestion des sols*, vol. 1, pp. 7-21.
- Coppenet M., Golven J., Simon J.C., Le Corre L, Le Roy M., 1993 - Evolution chimique des sols en exploitations d'élevage intensif : exemple du Finistère. *Agronomie*, 13, pp. 77-83.
- Leleux A., Arousseau P. et Roudaut A., 1988 - Synthèse cartographique régionale à partir de données d'analyses de terre. *Science du Sol*, vol. 26 n1.
- Roussel O., Bourmeau E., Walter Ch., 2001 - Evaluation du déficit en matière organique des sols français et des besoins potentiels en amendements organiques. *Etude et Gestion des Sols*, vol. 8, pp. 65-81.
- Schwartz Ch. (1989) - Exploitation cartographique d'un fichier d'analyses de terres agricoles. *Science du Sol*, vol. 27, pp.93-96.
- Schwartz C., Walter C., Claudot B., Bouédo Th., Arousseau P., 1997 - Synthèse nationale des analyses de terre réalisées entre 1990 et 1994 I. constitution d'une banque de données cantonale. *Etude et Gestion des Sols*, vol. 4, pp. 194-204.
- Skinner R.J., Todd A.D., 1998 - Twenty-five years of monitoring pH and nutrients status of soils in England and Wales. *Soil Use and Management*. 14, pp.162-169.
- Thorette J., Schwartz C., 2001 - L'épandage des boues d'épuration urbaine et les sols agricoles. *Les données de l'Environnement*. 63, 4 pages.
- Walter C., Bouédo T., Arousseau P., 1995 - Cartographie communale des teneurs en matière organique des sols bretons et analyse de leur évolution temporelle de 1980 à 1995. Rapport final. Conseil Régional de Bretagne - Agence Loire-Bretagne, 31 p.
- Walter C., Schwartz C., Claudot B., Bouédo T., Arousseau P., 1997 - Synthèse nationale des analyses de terre réalisées entre 1990 et 1994 II. descriptions statistique et cartographique de la variabilité des horizons de surface des sols cultivés. *Etude et Gestion des Sols*, vol. 4, pp. 205-220.

