

# Le Conservatoire des Sols :

## La mémoire des sols de France

C. Ratié, A. C. Richer de Forges, P. Berché, L. Boulonne, B. Toutain, N. P. A. Saby, J.-P. Chenu, D. Laloua, B. Ortolland, E. Tientcheu, N. Soler-Dominguez, C. Jolivet et D. Arrouays

INRA, Unité InfoSol, US 1106, 2163 avenue de la Pomme de Pin, CS 40001 - Ardon 45075 Orléans Cedex 2, France  
*Celine.Ratie@orleans.inra.fr*

### RÉSUMÉ

Le Conservatoire des Sols est une structure scientifique et logistique qui assure la gestion et la conservation des échantillons de sols de France issus des programmes du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (Gis-Sol). Situé sur le centre de recherches de l'INRA d'Orléans, sa partie pédothèque contient actuellement environ 25000 échantillons de sols.

Le Conservatoire fut à l'origine construit dans le cadre de la mise en place du Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS), conçu pour la surveillance des sols selon un pas de temps d'environ 10 ans. Son objectif initial est de mettre en évidence de potentielles évolutions des sols en permettant l'analyse des échantillons archivés à chaque nouvelle campagne. La conservation pérenne des échantillons permet en effet de les analyser *a posteriori*, soit à des fins de vérification dans le cadre de l'évolution des méthodes analytiques, soit pour réaliser des déterminations analytiques liées à des problématiques nouvelles.

Le Conservatoire bénéficie de procédures d'assurance qualité très strictes. La collection d'échantillons qu'il abrite représente une valeur historique et patrimoniale considérable. Il constitue, en outre, une banque d'échantillons disponibles pour la Recherche : il fournit déjà actuellement de très nombreux échantillons dans le cadre de plusieurs collaborations scientifiques. La richesse des résultats obtenus démontre *a posteriori* le bien fondé de sa mise en place. Une mise en réseau des initiatives similaires en Europe et dans le monde ouvrirait la voie vers une caractérisation plus systématique et plus exhaustive des sols de très vastes territoires.

### Mots clés

Sol, échantillon, archives, conservatoire, pédothèque, assurance qualité, France.

**SUMMARY****THE FRENCH NATIONAL SOIL SAMPLES ARCHIVE**

The French national soil samples archive is a scientific and logistic structure for handling, managing and storing French soil samples collected in the framework of the inventory and monitoring programmes of a Group of Scientific Interest for Soil (the Gis Sol). It is located on the INRA Orléans site and stores at the moment about 25,000 soil samples. Its aim is to build a sample bank available for research programmes. Initially, it was built in the framework of the French national soil monitoring network (RMQS) devoted to monitor the soil using a time interval of 10 years. Its initial objective is to assess eventual changes in soil quality by analysing samples from each campaign. It also enables coming back to samples to run new determinations, either for verification purposes or to realize new analyses according to new objectives or to change or improvement of analytical protocols and techniques.

The soil sample archive is submitted to strict quality control protocols. Its collection has an enormous historical and patrimonial value. Nowadays, the archive delivers a very large number of samples in the framework of numerous scientific programmes. The diversity of the results obtained a posteriori demonstrates its usefulness. Networking with similar structures in Europe and in the World could open an avenue towards an exhaustive and systematic characterization of soil over large areas

**Key-words**

Soil, sample, archive, conservation, quality assurance, France.

**RESUMEN****CONSERVACION DE MUESTRAS DE SUELOS EN FRANCIA**

La «Pedotheca» es una estructura científica y logística que asegura la gestión y la conservación de muestras de suelos que salen de los proyectos del Gis Sol (Groupement d'Intérêt scientifique Sol). Situado sobre el sitio del Instituto Nacional en Investigación Agronómica (INRA) en Orleans, contiene actualmente 25000 muestras. El fin de esta «Pedotheca» es de constituir un banco de especímenes de suelos, disponibles para la investigación científica. Al principio, fue construida en el cuadro de la instauración de la red de vigilancia de la calidad de los suelos franceses, el RMQS (Réseau de Mesures de la Qualité des Sols) con un tiempo de intervalo de 10 años. El primer objetivo es, antes de todo de poner en evidencia posibles evoluciones de calidad de los suelos, analizando las muestras de cada campaña, pero permite también una vuelta sobre las muestras para realizar análisis ulteriores, que sea para verificar los primeros resultados, para sacar provecho de la evolución de los métodos analíticos o para nuevas determinaciones en función de nuevas problemáticas.

El INRA aprovecha de un sello de calidad muy estricto el cual beneficia a la Pedotheca. La colección que protegé el conservatorio representa un gran valor histórica y patrimonial. Actualmente, proporcionamos numerosas muestras en el cuadro de varias colaboraciones científicas.

La riqueza de los resultados sacados muestra a posteriori la legitimidad de su existencia. Poner en común iniciativas similares europeas y mundiales podría abrir el camino hasta una caracterización más sistemática y más exhaustiva de los suelos de varios territorios.

**Palabras clave**

Suelo, muestra de suelos, banco de especímenes, conservación, garantía de calidad, Francia

Les sols constituent un patrimoine naturel non renouvelable à l'échelle humaine. La préservation des fonctions environnementales des sols, de leurs usages productifs et la prise en compte de leur rôle dans l'aménagement et l'utilisation du territoire constituent un enjeu collectif pour le développement durable. Les sols évoluent lentement sous l'effet de grands facteurs naturels tels que le climat, la topographie, le matériau parental et la végétation. Cette évolution peut être accélérée ou modifiée par les activités humaines telles que les aménagements fonciers, les pratiques agricoles, les épandages, les retombées atmosphériques, les pollutions accidentelles, etc., qui perturbent l'équilibre de l'écosystème que constitue le sol. En Europe, on peut citer parmi les principales atteintes à la qualité des sols, les phénomènes d'érosion, de tassement, d'imperméabilisation, d'appauvrissement en matière organique, de pollutions locales ou diffuses. Ainsi, nombre de processus qui n'ont pas toujours de conséquences immédiates et notables sur les niveaux de production peuvent-ils désormais être vus comme des processus de dégradation des fonctions du sol. La communication de la Commission Européenne sur la protection des sols, annonciatrice d'une directive cadre en préparation, est un des faits marquants qui montre bien l'émergence nouvelle d'une volonté de politique environnementale de protection des sols (Commission Européenne, 2002)<sup>1</sup>.

Face à ces menaces, la plupart des pays d'Europe ont mis en place des programmes de surveillance de la qualité de leurs sols (Arrouays *et al.*, 1998 ; King et Montanarella, 2002 ; Morvan *et al.*, 2007 ; 2008 ; Arrouays *et al.*, 2008a et b ; Saby *et al.*, 2008). De fait, à l'exception de quelques pays (par exemple, Angleterre et Pays de Galles, Suisse, Hongrie), ces programmes nationaux n'en sont le plus souvent qu'à leur première campagne de mesures, et constituent donc actuellement des inventaires initiaux et non de véritables programmes de suivi. D'après une enquête européenne (Morvan *et al.*, 2007 ; 2008), paradoxalement, parmi les réseaux de mesures pour lesquels cette information est disponible, environ 40 % n'archivent pas durablement leurs échantillons de sol, qui sont ainsi perdus pour des déterminations futures. Cet état de fait est d'autant plus surprenant que les archives d'échantillons à très long terme sur des essais de longue durée ont depuis longtemps montré leur potentiel pour analyser des évolutions historiques (par exemple pour le plus ancien, le dispositif de Broadbent à Rothamsted en Angleterre (Green *et al.*, 2001) et en France les dispositifs dits de Déhérain à Grignon et des 48 parcelles de Versailles). Au-delà des essais de longue durée, des programmes nationaux de caractérisation ou de suivi des sols forestiers ont déjà mis en place de telles mesures de conservation (programmes « Santé des forêts » (Badeau *et*

*al.*, 1999 et « Renecofor » Ulrich *et al.* 1995). Dans le cadre de la mise en place du programme national de surveillance « Réseau de Mesures de la Qualité des Sols » (RMQS, Arrouays *et al.*, 2002 ; 2003 ; Jolivet *et al.*, 2006), un conservatoire national d'échantillons de sols a été établi. L'objectif de cette note technique est de présenter son fonctionnement interne, ses utilisations, les nouvelles initiatives qu'il a permis de susciter, ainsi que les perspectives qu'il permet d'ouvrir.

## PRÉSENTATION DU CONSERVATOIRE DES SOLS

Le **Conservatoire des Sols** est une structure scientifique et logistique assurant l'acquisition, la caractérisation, la conservation à long terme et la mise à disposition de la communauté scientifique nationale et internationale, d'échantillons issus des grands programmes nationaux d'inventaire et de surveillance des sols du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (Gis Sol). Le Gis Sol regroupe le Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche, le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et l'Inventaire Forestier National (IFN). Son objectif est de constituer et de gérer un système d'information sur les sols de France, par rapport à leur distribution spatiale, leurs propriétés et l'évolution de leurs qualités. Le Conservatoire a pour mission d'établir un véritable référentiel d'échantillons de sol, dont l'épine dorsale repose sur une collection de plusieurs dizaines de milliers d'échantillons parfaitement géoréférencés, représentatifs de la variété des sols français et de leurs occupations. Tous ces échantillons sont en lien direct avec la base de données nationale DoneSol qui regroupe l'ensemble des données (descriptifs, résultats d'analyses physico-chimiques) les concernant.

Ce conservatoire, dont l'objectif est de construire «la mémoire de nos sols», constitue un outil collectif stratégique dans des programmes régionaux, nationaux, européens et internationaux. Le Conservatoire fonctionne autour d'une «cellule projet» constituée de trois personnes, chargées d'organiser les demandes en amont. Cette cellule assure le lien entre le Conservatoire et les différentes équipes utilisatrices de la banque d'échantillons. Elle encadre les activités de quatre personnes travaillant à plein temps au Conservatoire.

Le site est un bâtiment organisé en deux parties, une salle de préparation et une salle d'archivage appelée «Pédothèque». Cette dernière est une pièce de 150 m<sup>2</sup> et de 4 mètres de hauteur sous plafond, sans ouverture, en conditions surveillées (un aérotherme empêche la température de descendre en dessous de 10°C). La salle de préparation est équipée d'étuves, d'une salle de séchage, d'une chambre froide, d'un laveur à ultrason, d'un

1- Communication de la Commission, du 16 avril 2002, au Conseil, au Parlement européen, au Comité économique et social et au Comité des régions : Vers une stratégie thématique pour la protection des sols COM (2002) 179 final - Non publié au Journal officiel]. Texte de la communication téléchargeable sur [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/soil\\_protection/l28122\\_fr.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/soil_protection/l28122_fr.htm)

circuit d'eau permutée et d'un compresseur pour l'air comprimé. Des bras aspirants au-dessus des paillasses protègent le personnel des poussières de préparation et empêchent la contamination croisée entre des échantillons.

## LES OBJECTIFS DU CONSERVATOIRE

Avec sa collection de plusieurs dizaines de milliers d'échantillons (figure 1), le Conservatoire des Sols représente un outil unique en France, exemplaire en Europe et dans le monde. Ses spécificités et son caractère stratégique peuvent être résumés en trois points essentiels.

### Analyser les phénomènes de dérive analytique

Le Conservatoire des Sols est indispensable pour pouvoir détecter des évolutions temporelles dans le cadre des programmes de surveillance des sols en évitant de probables dérives analytiques. En effet, les méthodes d'analyses évoluent, les techniques s'améliorent régulièrement et les seuils de détection s'abaissent. Pour des programmes de surveillance de la qualité des sols (comme le RMQS), les échantillons historiques stockés pourront être ré-analysés en même temps qu'un nouvel échantillon prélevé au même endroit à l'instant  $t+1$ . De fait, une différence constatée entre  $t$  et  $t+1$  pourrait être due à une éventuelle dérive analytique, qui conduirait ainsi à une interprétation fautive de la variation observée entre les deux dates. Une telle situation a en effet déjà été observée dans le cadre de l'ancien Observatoire de la Qualité des Sols (Martin *et al.*, 1999), dont les échantillons sont stockés dans l'actuel Conservatoire. Suite à ces observations, il est apparu très important de vérifier l'existence d'un biais possible dont l'ampleur était largement sous-estimée : une dérive à long terme (d'une campagne à une autre) des résultats d'analyses pour certaines variables (Martin *et al.*, 1999). Cette variabilité peut s'expliquer par l'emploi de nouvelles méthodes de mesure ou tout simplement par de légères modifications des conditions de laboratoire.

### Construire la mémoire de nos sols

Le Conservatoire des Sols est également destiné à pouvoir « remonter le temps » *a posteriori*. Les problématiques environnementales de demain ne sont pas encore connues et ces échantillons conservés permettront d'analyser dans le futur des éléments que l'on ne sait pas doser aujourd'hui en routine ou dont on pense - peut-être à tort - qu'ils ne poseront pas de questions agronomiques, environnementales ou sanitaires (un exemple typique est l'accident de Tchernobyl). La conservation des échantillons sera alors indispensable pour avoir la possibilité de faire des analyses *a posteriori* et de reconstituer des évolutions passées. Elle offrira également la possibilité de caractériser

des paramètres (des éléments, les molécules, des isotopes...) que les techniques d'analyses ne permettent pas actuellement de doser, soit parce que 1) l'analyse s'avère aujourd'hui techniquement irréalisable en routine, 2) elle est encore trop coûteuse, 3) les teneurs sont inférieures aux seuils actuels de détection ou tout simplement 4) la technique de caractérisation n'existe pas encore. De fait, certaines des utilisations actuelles des échantillons du Conservatoire étaient encore insoupçonnées lors de sa mise en place (tableau 1).

### Mettre à disposition une banque d'échantillons

Le Conservatoire des Sols constitue une banque de sols à disposition des chercheurs pour initier de nouveaux programmes de recherches. Il renferme en effet des échantillons représentatifs des sols français et de leurs occupations et couvrant une très large gamme de l'ensemble des paramètres d'intérêt. Ces équipes peuvent avoir accès à un échantillonnage et à des données associées d'envergure nationale ou au contraire peuvent s'intéresser à une question particulière concernant un territoire donné ou une certaine gamme d'échantillons présentant des valeurs spécifiques pour un paramètre donné. Le Conservatoire offre ces possibilités. Au fur et à mesure de l'utilisation des échantillons pour de nouveaux programmes, la gamme de leur caractérisation augmente de façon continue, ce qui accroît considérablement leur potentiel scientifique. Il est également certain que lorsque de nouvelles campagnes permettront d'obtenir du recul sur leur évolution, leur valeur scientifique s'accroîtra également. C'est pourquoi il est important de stocker des grandes quantités dès la première campagne (actuellement environ 8 kg par échantillon). Le Conservatoire a en cela bénéficié de l'expérience et du conseil de réseaux antérieurs qui ont été ainsi confrontés à un risque d'épuisement de leurs stocks (l'Observatoire National des Sols, NABO en Suisse ; le Département Santé des Forêts, en France ; The Soil Sample Archive en Irlande).

## L'ORGANISATION DU CONSERVATOIRE

Le Conservatoire est organisé en ateliers. Toutes les activités suivent une démarche qualité suivant le référentiel INRA (Mission Qualité, 2005). Selon les programmes concernés, les échantillons subissent différents traitements. Les tâches sont décrites dans des fiches spécifiques (figure 1).

Chaque projet est d'abord décrit dans une « fiche projet », les modalités de préparation des échantillons sont, quant à elles définies dans une « fiche travaux » qui correspond à un lot d'échantillons donné, à une date donnée et pour un programme défini. Ainsi, les « menus analytiques » et demandes de préparations peuvent évoluer au cours d'un même projet.

**Figure 1** - Les échantillons de sol au Conservatoire**Figure 1** - Soil samples archive pictures

1 - échantillon issu de reliquat d'analyses, conditionné et étiqueté - 2 - sol tamisé à 2 mm - 3 - un flacon de sol conditionné pour analyse d'ADN microbien - 4 - différents contenants d'échantillons de sol utilisés au Conservatoire - 5 - échantillons issus de prélèvements de sol frais à la réception - 6 - la pédothèque

Pour l'identification, le suivi et la gestion des stocks d'échantillons, un système de codes-barres est utilisé qui permet de lier des échantillons à la base de données, d'actualiser leur appartenance à un nouveau programme, de suivre leur poids actuel et d'en gérer les stocks, et de connaître les analyses qu'ils ont subies ainsi que leur localisation dans la pédothèque.

Toutes les informations disponibles sur les échantillons sont saisies en base de données (DoneSol2, Grolleau *et al.*, 2004) avec leurs coordonnées précises, le descriptif de la fosse pédologique ou du prélèvement composite dont ils sont issus, la description détaillée de la parcelle (historique, occupation, pratiques, etc.) et de son environnement, et l'ensemble des résultats d'analyses. Notons que, bien que les coordonnées exactes des prélèvements soient connues, elles sont soumises à la confidentialité.

## Le circuit des échantillons au Conservatoire

De façon concrète, les échantillons issus des prélèvements de terrain arrivent au Conservatoire, identifiés (double étiquetage) et assortis d'une «fiche de prélèvement» détaillée. Leur intégrité est vérifiée, en cas d'identification insuffisante ou d'avarie sur le contenant, des précisions sont demandées ou les dégâts sont signalés au référent du programme concerné. En cas de mauvaise identification avérée (cas heureusement peu fréquent), ils sont considérés comme inutilisables et la demande d'un nouveau prélèvement conforme est effectuée.

Selon les programmes dont ils sont issus (programme d'inventaire cartographique IGCS ou programme de surveillance

RMQS), le circuit des échantillons varie sensiblement (*figures 2 et 3*)

Les échantillons qui arrivent peuvent être :

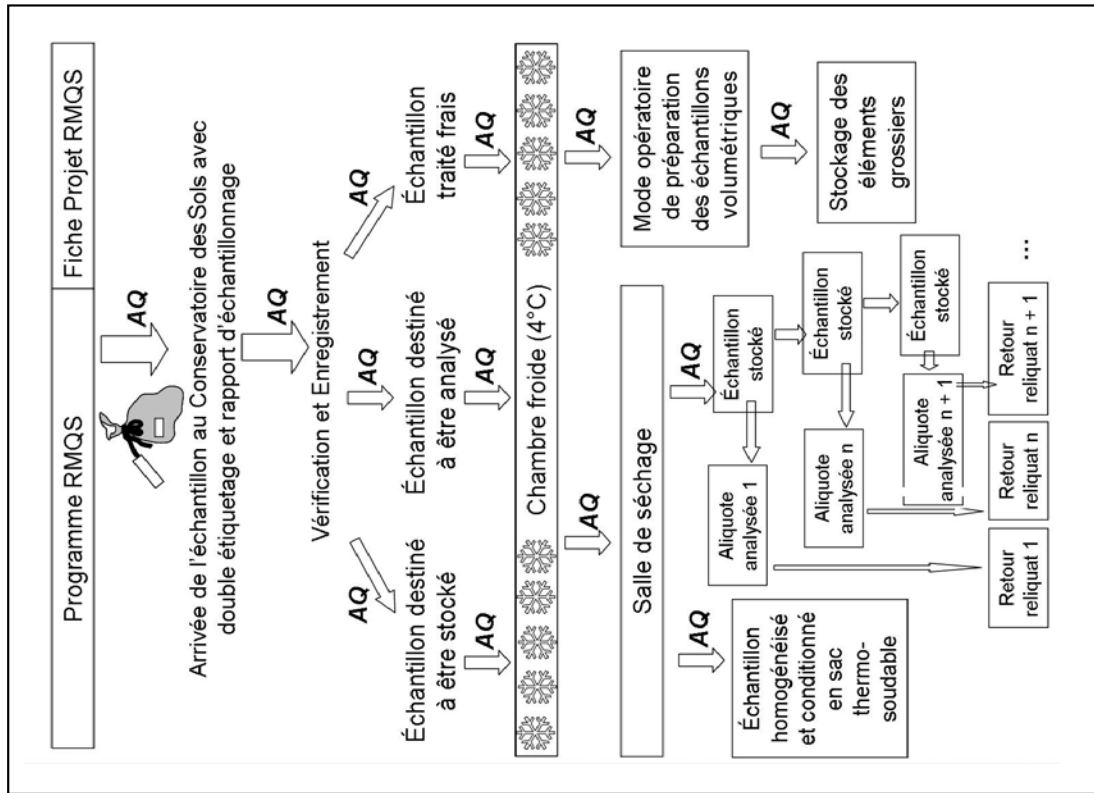
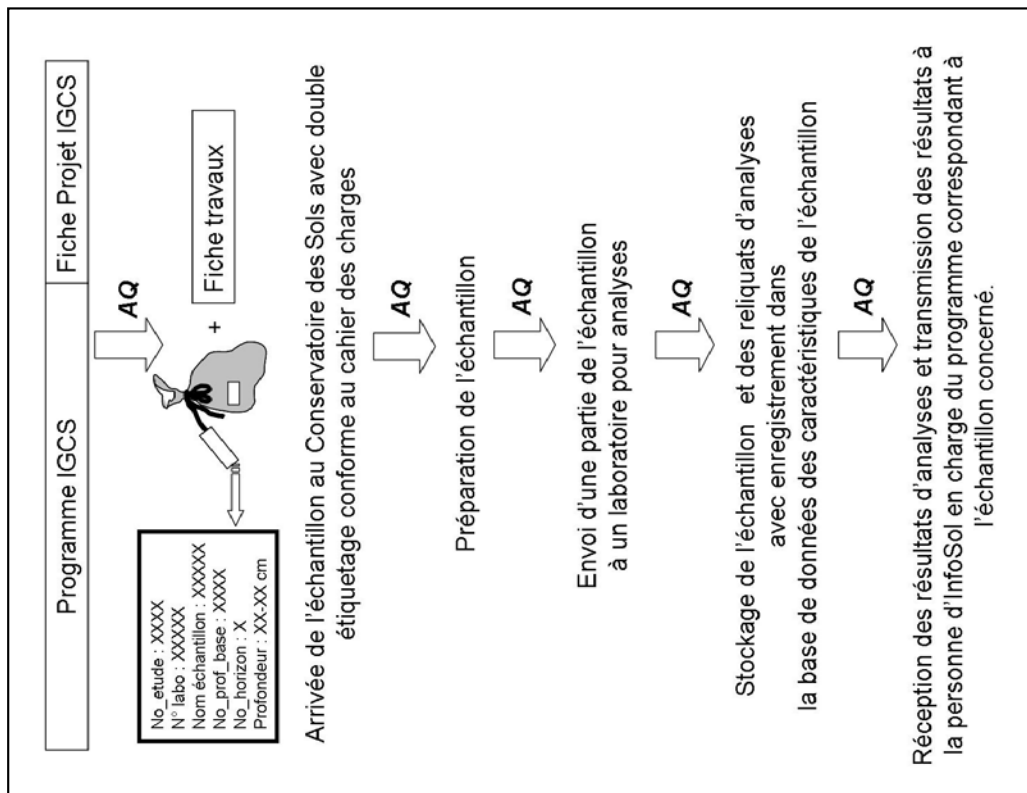
- Des échantillons secs provenant par exemple du programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols, qui sont alors directement préparés pour être envoyés en analyse ou simplement stockés au Conservatoire.
- Des échantillons frais provenant par exemple du programme Réseau de Mesures de la Qualité des Sols, qui sont dans un premier temps entreposés en chambre froide (4°C), de manière à limiter leur évolution chimique et biologique avant d'être ensuite mis à sécher, étalés dans des bacs bien identifiés avec une faible épaisseur d'échantillon pour permettre un séchage complet à l'air libre en une quinzaine de jours. Cette salle est en conditions contrôlées, avec une température de 30°C pour une humidité relative de l'air d'environ 30%. Après séchage, et suivant leur type, les échantillons sont préparés ou directement conditionnés pour être stockés.

La préparation d'un échantillon de laboratoire pour analyses consiste généralement en un tamisage à 2 mm d'une quantité suffisante d'échantillons bruts pour constituer une aliquote selon des procédures de quartage normalisées. Tous les échantillons fils créés à partir d'un échantillon parent sont également identifiés et enregistrés.

Cette traçabilité permet de connaître le parcours suivi par chaque échantillon, sa filiation avec l'échantillon d'origine et les modifications éventuelles qu'il a subies avant d'être stocké. Les reliquats d'échantillons reçus en retour d'analyses sont égale-

Figures 2 et 3- Circuit des échantillons au Conservatoire, exemples de programmes, IGCS et RMQS.

Figures 2 et 3 - Samples circuit in the soil samples archive, example from inventory and monitoring programs.



ment conservés. Ces reliquats peuvent servir de support pour une nouvelle analyse en cas de doute sur des résultats reçus d'un laboratoire d'analyse.

Les échantillons reçus frais peuvent aussi être des échantillons volumétriques, prélevés dans le but de calculer la masse volumique du sol. Ils sont alors pesés (humides) dès leur arrivée puis séchés en étuve à 105°C pendant 24h. Ils sont à nouveau pesés (secs) avant d'être tamisés sur colonne de tamis (2 cm et 2 mm), à l'eau afin de séparer les éléments grossiers, cailloux, et graviers contenus dans l'échantillon, qui sont ensuite pesés, identifiés, et conservés.

Pour le stockage à long terme, les petits et moyens échantillons (de 500 g à 3 kg) sont stockés dans des sacs thermo-soudés de manière à limiter leur évolution après leur séchage. Les gros échantillons (environ 8 kg) sont stockés dans des seaux en plastique alimentaire hermétiquement fermés. Tous ces échantillons sont conservés dans la pédothèque à l'obscurité, en conditions hygrométriques et thermiques régulées et surveillées.

## LA DÉMARCHE QUALITÉ AU SEIN DU CONSERVATOIRE

Pour atteindre les objectifs du Conservatoire, il est indispensable de prendre soin de conserver durablement et dans de bonnes conditions les échantillons de sols. Cet objectif inhérent est rendu possible grâce à la mise en place de procédures d'assurance qualité, de veille technologique et d'innovation méthodologique dans les processus de conservation des échantillons à long terme.

La démarche Qualité a été mise en place au sein du Conservatoire dès sa construction en 2002 en utilisant le Référentiel qualité de l'INRA (Mission Qualité, 2005). Les objectifs de fiabilité et reproductibilité des mesures, de traçabilité des activités et des résultats s'inscrivent dans ce concept d'Assurance Qualité. Ces deux volets sont conjointement appliqués au Conservatoire. L'ensemble du personnel du Conservatoire utilise les documents qualité rédigés par tout le personnel puis vérifiés et validés par l'animateur qualité de l'équipe ou de l'unité.

Ces documents regroupent les cahiers de traçabilité qui permettent de conserver des traces de l'état des échantillons physiques à leur arrivée au Conservatoire, les fichiers informatiques de suivi des échantillons permettent ensuite de suivre leur cheminement. La base de données résume les actions subies par l'échantillon, les quantités disponibles d'un échantillon à un instant donné, elle contient également des informations sur le site de prélèvement. Les sorties d'échantillons pour analyses et les retours de reliquats sont également consignés.

Les activités du Conservatoire sont encadrées par des modes opératoires, des protocoles et des instructions indiquant la marche à suivre pour le traitement des échantillons,

assurant ainsi la fiabilité des mesures. Avec l'élargissement des programmes scientifiques impliquant le Conservatoire, un système de Fiches-Projet et Fiches-Travaux a été mis en place afin d'informer le personnel du Conservatoire des nouveaux programmes et de décrire précisément les actions à mener sur les échantillons des différents programmes. Cela permet d'assurer la reproductibilité et la traçabilité des mesures.

Le matériel du Conservatoire est également référencé et suivi dans le cadre de cette démarche au moyen d'enregistrements répertoriant les entretiens et les réparations.

Toutes les activités du Conservatoire relatives à la réception, l'enregistrement, la préparation, le stockage ou à l'aliquotage des échantillons sont standardisées et décrites dans des documents qualité. Les protocoles font référence à des normes AFNOR ou normes ISO. Ces documents sont codés, référencés et sont utilisés par tout le personnel du Conservatoire. Le Conservatoire garantit ainsi des prestations standardisées et propose une gestion des échantillons formalisée pour assurer la traçabilité des échantillons et la fiabilité des mesures.

## MISE À DISPOSITION DES ÉCHANTILLONS – EXEMPLES D'UTILISATIONS

Des sous-échantillons ou aliquotes sont mis à disposition à la demande, le plus souvent pour des projets de Recherche dans lesquels l'Unité InfoSol est impliquée scientifiquement. L'équipe participe, en amont, à l'élaboration du protocole et aux réflexions sur les quantités et la nature des échantillons fournis ou sur les stratégies d'échantillonnage le cas échéant. Dans certains cas, leur sélection peut être faite sur des critères physico-chimiques, pédologiques, d'occupation des sols, de gradient de teneurs, de localisation géographique, etc. Dans d'autres cas, c'est le critère d'exhaustivité qui est appliqué, et l'ensemble des échantillons du RMQS est mis à disposition. En aval, l'unité InfoSol gère les données se rapportant à l'échantillon (anciennes et nouvelles analyses).

Enfin, l'unité InfoSol participe le plus souvent au traitement, à l'interprétation et à la valorisation des résultats. La partie suivante présente une synthèse des utilisations des échantillons du Conservatoire à ce jour.

## LES UTILISATIONS ACTUELLES DU CONSERVATOIRE

Depuis sa création et jusque vers 2007, la plus grande partie des demandes arrivant au Conservatoire était constituée du flux d'échantillons prélevés dans le cadre du RMQS, et des diverses opérations à réaliser dans ce cadre (réception, contrôle,

séchage, quartage, tamisage, expédition, conditionnement et stockage, gestion des reliquats, déterminations des masses volumiques et des teneurs en éléments grossiers, lavage, séchage, identification et stockage des éléments grossiers...). A compter de l'année 2007, le développement de nombreux nouveaux programmes a généré une explosion de nouvelles demandes. (tableau 1)

A titre d'exemple, un programme portant sur la caractérisation des sols par spectrométrie moyen infra rouge (MIR), débuté en 2008, a mobilisé l'envoi de 2 000 échantillons de terre fine à l'UMR Eco&Sols à Montpellier. Arrivant à une période où les stocks de terre fine préparée étaient déjà pour la plupart épuisés par des programmes précédents, il a généré l'équivalent d'un an de travail de technicien. D'autres programmes en cours de réalisation ou d'acceptation, parfois moins «gourmands» en termes de nombre d'échantillons, le sont cependant en termes de masse de terre à préparer (par exemple des programmes incluant des incubations...).

L'intérêt croissant de la communauté scientifique pour cette collection d'échantillons et les données qui y sont associées s'est concrétisé ces dernières années par de nombreuses sollicitations impliquant le Conservatoire dans de nouveaux projets de recherche. Les équipes utilisatrices ou demandeuses des échantillons et des données gérés par le Conservatoire font actuellement partie de l'ensemble des organismes de recherche publique en France et en Europe (INRA, CNRS, Universités, IRD, BRGM, CEA, CIRAD, INERIS, AFSSET, ANDRA, ADEME, Ecoles agronomiques, JRC Ispra, British Geological Survey, etc.). Ces collaborations se sont concrétisées par le lancement de plusieurs programmes d'envergure nationale sur des thématiques variées et fondées sur l'utilisation des échantillons du Conservatoire.

Cette demande ne faiblira pas, bien au contraire : il est probable que, certains essais méthodologiques ayant démontré leur potentiel sur une sélection d'échantillons, le passage à leur développement en routine se fera sur de beaucoup plus grandes séries, voire sur la totalité des échantillons du RMQS. C'est d'ailleurs déjà le cas pour l'analyse des HAP et des OCP, débutée dans le cadre d'un premier essai sur une gamme réduite de sites (Villanneau et al., 2009) et maintenant appliquée à un point sur 4 sur l'ensemble du territoire (soit 550 échantillons). Il est également probable que plus la banque d'échantillons aura démontré son potentiel - et plus les échantillons seront caractérisés par de multiples déterminations - plus la demande augmentera.

Dans le même ordre d'idée, le Conservatoire gère également des échantillons de chronoséquences historiques acquises dans le cadre de travaux sur l'évolution des stocks de carbone des sols. Ces chronoséquences exceptionnelles de par leur durée et leur potentiel d'exploitation par diverses techniques ont également contribué fortement au développement de projets de recherche, et des échantillons sont régulièrement demandés pour de nouvelles analyses.

Dans le cadre des programmes d'inventaire, des collections historiques d'échantillons, issus de très nombreux programmes cartographiques, sont disponibles. Un énorme travail de recensement et de mise en base de données reste à faire. Afin de proposer un service de stockage et de gestion à nos partenaires régionaux des programmes d'inventaire cartographique, une enquête a été élaborée et adressée à nos partenaires afin d'avoir une vue la plus exhaustive possible de la quantité d'échantillons à stocker.

## LES CONSERVATOIRES ASSOCIÉS ET LE DÉVELOPPEMENT DE NOUVELLES INITIATIVES

L'équipe du Conservatoire travaille en étroite collaboration avec la plateforme GenoSol qui s'est développée à partir des sols du RMQS en constituant une ADNthèque (Ranjard et al., 2009) pour acquérir, stocker et caractériser des ressources génétiques microbiennes des sols. Son but ultime est de produire un système de référence basé sur la caractérisation moléculaire des communautés microbiennes du sol qui permettra aux scientifiques d'interpréter des analyses à petite échelle de temps et d'espace. Cette collection d'échantillons est disponible pour la communauté scientifique nationale et internationale en termes de ressources génétiques des sols.

Les initiatives de constitution de telles banques d'échantillons se multiplient actuellement, comme aux Etats-Unis (Liebig et al., 2008). En conséquence, le Conservatoire est sollicité pour des demandes de visite ainsi que pour des conseils et des expertises à ce sujet. A l'échelle régionale, par exemple, son expertise a été sollicitée par une équipe de l'UMR SAS INRA Agrocampus-Ouest, pour la création d'une pédothèque régionale dans le cadre du programme « Sols de Bretagne ». Au niveau national, «l'équipe sol» de l'UMR EGC INRA - AgroParisTech a interrogé le Conservatoire pour la création d'une pédothèque dans le cadre de l'ORE PRO (Observatoire de Recherche en Environnement sur les Produits Résiduels Organiques). Parallèlement, en 2009, le Conservatoire a été retenu suite à un appel d'offre de l'ANDRA pour une expertise et un appui à la mise en place de l'Observatoire Pérenne de l'Environnement (OPE) dans la Meuse. Il s'agit de constituer un état de référence préliminaire aux activités de construction et d'exploitation d'un centre de stockage des déchets Haute Activité à Vie Longue (HAVL). Cet état de référence devra fournir des données essentielles pour les études d'impacts. Le suivi temporel de la qualité des sols, basé sur un réseau systématique intégré aux réseaux nationaux et européens, permettra de suivre l'évolution de l'état des sols et de leurs fonctionnements et de rechercher les causes éventuelles de ces évolutions. L'équipe RMQS a participé à la conception et à la mise en place du réseau d'observation et le Conservatoire



**Tableau 1 - Projets impliquant une demande d'échantillons au Conservatoire.****Table 1 - Projects using samples from the soil samples archive.**

	Acronyme	Financement	Titre	Nb d'échantillons	Durée
<b>Biodiversité des sols</b>	ECOMIC-RMQS	ADEME / ANR	Microbio-géographie à l'échelle de la France par application d'outils moléculaires au RMQS	2200	2007-2009
	PATHO-RMQS	ANR	Répartition géographique des bactéries pathogènes de l'Homme dans les sols : effet des constituants et de l'urbanisation	1550	2008-2010
	RMQS-BIODIV	ADEME	Etude de la composante biologique des sols à l'aide d'un échantillonnage systématique à l'échelle régionale : RMQS Bretagne	108	2007-2008
	COLI-RMQS	CPER Bourgogne	Dépistage des sources animales et environnementales d' <i>Escherichia coli</i> productrices de beta-lactamases à spectre élargi de type CTX-M	115	2008-2009
<b>Spectrométrie Carbone</b>	MIRSOL	ADEME	Développement d'une méthode rapide de caractérisation des propriétés bio-physico-chimiques des sols de France : application de la spectrométrie MIR au RMQS	4400	2008-2009
	SPEC-BIO	GESSOL	Indicateurs spectraux de qualité biologique des sols : évaluation de la séquestration du carbone des sols par spectrométrie PIR et MIR	100	2010-2011
	QUALISOL	CPER Centre	Modélisation spatialisée du bilan de carbone et de la prédiction de l'évolution de la qualité des sols en Région Centre	480	2009-2010
	INCA	GESSOL	Spectrométrie infra-rouge in situ pour l'évaluation des stocks de carbone des sols	550	2010-2012
<b>Polluants organiques persistants</b>	POP-RMQS	AFSSET / ADEME	Détection des polluants organiques persistants dans les sols (HAP, OCP, dioxines et furanes, herbicides), analyse de faisabilité sur la base d'un sous échantillonnage du RMQS	183	2008-2009
	OCP-HAP-RMQS	AFSSET	Analyse de la distribution géographique des OCP et HAP dans les sols de France sur la base d'un sous échantillonnage du RMQS	550	2009-2011
	ORGANO-ETAIN	ENITA Bordeaux	Recherche de composés organo-étain dans les sols du RMQS	31	2007-2008
<b>ETM Transferts</b>	DGT-RMQS	ADEME INRA dept EA	Phyto-disponibilité des éléments traces métalliques dans les sols faiblement contaminés, application au RMQS	100	2008-2009
	NORMA-RHIZO	ANR	Vers la normalisation du RHIZOtest pour l'évaluation de la phytodisponibilité des éléments traces en sols contaminés	50	2010-2012
<b>Radio-éléments</b>	RMQS-CHLORE 36	ANDRA	Caractérisation de la variabilité des teneurs en chlore organique et inorganique des sols dans des milieux contrastés	45	2009-2010

a été missionné pour la réception, la préparation et l'envoi des échantillons aux laboratoires d'analyse de sols.

A l'échelle nationale, l'expertise de l'équipe a été sollicitée sur la faisabilité d'un Réseau de Mesures de la Qualité des Végétaux, qui pourrait être couplé au Réseau de Mesures de la Qualité des Sols, et qui comporterait un conservatoire d'échantillons de végétaux.

A des échelles plus vastes, le Bureau Européen des Sols (Joint Research Centre, Ispra, Italie), a récemment consulté le Conservatoire pour définir un cahier des charges en vue de la création d'un conservatoire européen d'échantillons de sols dans le cadre du programme « LUCAS Soil ». L'Unité InfoSol s'est proposée pour devenir gestionnaire des échantillons de sols de sites pérennes d'observation de flux de gaz à effet de serre dans le cadre du projet international ICOS (International Carbon Observation System). Enfin, une personne de l'unité est membre du comité scientifique des archives nationales d'échantillons des sols d'Irlande.

## CONCLUSION

Le Conservatoire constitue «la mémoire de nos sols». Il représente indiscutablement un outil collectif stratégique pour la caractérisation des sols dans des programmes régionaux, nationaux, européens et internationaux

Grâce à ce conservatoire, une collection unique d'échantillons de sols est accessible aux équipes de recherches travaillant sur toutes les thématiques concernant les sols ou pour lesquelles les sols sont un facteur important à prendre en compte. D'un point de vue global, le Conservatoire des Sols est un outil structurant proposant à ces équipes la possibilité de développer des programmes impliquant des échantillonnages de grande envergure sans la nécessité de développer en propre une méthodologie et une logistique d'échantillonnage, de préparation, de gestion et de conservation d'échantillons, lourdes et conjoncturelles. Le Conservatoire fait également le lien entre les équipes de recherches et les gestionnaires de dispositifs expérimentaux d'intérêt stratégique nationaux (RMQS, ORE...) et européens (BIOSOIL). De plus, ses liens étroits avec la plateforme GénoSol - Conservatoire national des ressources génétiques microbiennes du sol - ouvrent des possibilités et des perspectives nouvelles en associant nos échantillons et nos bases de données, à ceux et celles gérés par GénoSol.

Plus généralement, on note un accroissement de l'intérêt scientifique et politique pour de telles initiatives à des échelles nationales, européennes ou mondiales. Une mise en réseau de ces dispositifs pourrait permettre d'élargir considérablement la gamme de situations et de paramètres étudiés. Une telle mise en réseau, associée aux progrès constants des techniques analytiques à haut débit, ouvrirait alors la voie vers une investigation plus systématique et exhaustive des sols de vastes territoires.

## REMERCIEMENTS

Le Conservatoire a été construit grâce à un co-financement INRA – Région Centre. Une grande partie de son équipement a été acquise dans le cadre de financements du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol qui associe les ministères en charge de l'agriculture (DGPAT) et de l'environnement (SOEs), l'ADEME, l'IRD, l'IFN et l'INRA.

Depuis sa création, le Conservatoire fonctionne aussi grâce à son personnel temporaire que nous remercions ici : Marie Arrouays, Thibault d'Assas, Marie Berteloot, Adeline Carnis, Mélanie Cassegrain, Julie Charpentier, Khalil Daroussin, Thomas Delhotel, Johannic Ferrand, Emmanuelle Fournier, Noël Gauthier, Marie Genevier, Maud George, Slimane Guerrab, Sarah Lalisce, Erell Lavillaugouet, Marlène Lavrieux, Pauline Le Lay, Grégoire Leroy, Harold Martin, Audrey Mignaud, Michel Nguenkam, Marie Philippe, Robin Richard, Fleuriane Schnebelen, Christèle Soler-Dominguez, Marion Tétégan, Elodie Voisin, Lucile Yart, Silvain Yart.

## BIBLIOGRAPHIE

- Arrouays D., Vogel H., Eckelmann W., Armstrong-Brown S., Loveland P., Coulter B. 1998 - Soil monitoring networks in Europe. A review. 16<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Montpellier, France.
- Arrouays, D., Jolivet, C., Boulonne, L., Bodineau, G., Saby, N., Grolleau, E. 2002 - Une initiative nouvelle en France: la mise en place d'un réseau multi-institutionnel de mesure de la qualité des sols (RMQS). C.R.Acad. Agric. Fr., 88(5) : pp. 93-103.
- Arrouays D., Saby N., 2003 - Une simulation de l'utilisation d'un réseau de surveillance pour le contrôle du carbone séquestré dans les sols: détectons-nous des changements ? *Etude et Gestion des Sols*, 10(1) : pp. 7-17
- Arrouays D., Morvan X., Saby N.P.A., Richer de Forges A., Le Bas C., Bellamy P.H., Berengi Uveges J., Freudenschuss A., Jones A.R., Jones R.J.A., Kibblewhite M.G., Simota C., Verdoort A., Verheijen F.G.A. 2008a - Environmental Assessment of Soil for Monitoring: Volume IIa Inventory & Monitoring. EUR 23490 EN/2A, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 188 p.
- Arrouays D., Richer de Forges A., Morvan X., Saby N., Jones A., Le Bas C., 2008b - Environmental Assessment of Soil for Monitoring: Volume IIb Survey of National Networks. EUR 23490 EN/2B, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 188 p.
- Badeau V., Dambrine E., Walter C., 1999 - Propriétés des sols forestiers français: Résultats du premier inventaire systématique. *Etude et Gestion des Sol.* 6 (3) : pp. 165-180
- Grolleau E., Bargeot L., Chafchafi A., Hardy R., Doux J., Beaudou A., Le Martret H., Lacassin J-Cl., Fort J-L., Falipou P., Arrouays D. 2004 - Le système d'information national sur les sols: DONESOL et les outils associés. *Etude et Gestion des Sols.* 11 (3) : pp. 255-269
- Green N. J. L., Jones J. L., Johnston A. E., Jones K. C., 2001 - Further Evidence for the Existence of PCDD/Fs in the Environment Prior to 1900. *Environ. Sci. Technol.*, 35 (10) : pp. 1974-1981
- INRA Mission Qualité, 2005 - Référentiel Qualité INRA - Version 1
- Jolivet C., Arrouays D., Boulonne L., Ratié C., Saby N., 2006 - Le Réseau de Mesures de la Qualité des Sols de France (RMQS). Etat d'avancement et premiers résultats. *Etude et Gestion des Sols.* 13 (3) : pp.149-164.

- King D. & Montanarella L., 2002 - Inventaire et surveillance des sols en Europe. *Etude et Gestion des Sols*, 9, 2 : pp. 137-148.
- Liebig M. A., Wikenheiser D. J., Nichols K. A., 2008 - Opportunities to Utilize the USDA-ARS Northern Great Plains Research Laboratory Soil Sample Archive. *Soil Science Society of America Journal*, 72, 4 : pp. 975-977
- Martin S., Baize D., Bonneau M., Chaussod R., Clesielsky H., Gaultier J.-P., Lavelle P., Legros J.-P., Leprêtre A., Steckerman T., 1999 - Le suivi de la qualité des sols en France, la contribution de l'Observatoire de la qualité des sols. *Etude et Gestion des sols*, 6, 3 : pp. 215-230.
- Morvan X., Richer de Forges A., Arrouays D., Le Bas C., Saby N., Jones R.J.A., Verheijen F., Bellamy P., Kibblewhite M., Stephens M., Freudenschuss A., Strauss P., Spiegel H., Verdoodt A., Goidts E., Colinet G., Sleutel S., Sishkov T., Kolev N., Penizek V., Kozak J., Balström T., Penu P. Köster T., Jolivet C., Baritz R., Kosmas C., Berényi Úveges J., Becher G., Renaud J.P., Arnoldussen A.H., Pavlenda P., Neville P., Michopoulos P., Herzberger E., Simoncic P., Fay D., Buivydaitė V.V., Karklins A., Camilleri S., Sammut S., Higgins A., Jordan C., Rutgers M., Niedzwiecki J., Stuczynski T., Da Conceição Goncalves M., Dias Mano R., Simota C., Lilly A., Hudson G., Kobza J., Zupan M., Simo Josa I., Olsson M., Lilja H., 2007 - Une analyse des stratégies d'échantillonnage des réseaux de surveillance de la qualité des sols en Europe. *Etude et Gestion des Sols*, 14(4) : pp. 317-326.
- Morvan, X.P.P.; Saby, N.P.A.; Arrouays, D.; Le Bas, C.; Jones, R.J.A.; Verheijen, F.G.A.; Bellamy, P.H.; Stephens, M.; Kibblewhite M.G., 2008 - Soil monitoring in Europe: a review of existing systems and requirements for harmonisation. *Sci. Tot. Env.*, 391 : pp. 1-12.
- Ranjard L., Dequiedt S., Lelievre M., Maron P.A., Mougel C., Morin F., Lemanceau P., 2009 - Platform GenoSol: a new tool for conserving and exploring soil microbial diversity. *Environmental Microbiology Reports*, 1 (2) : pp.97-99
- Saby, N., Bellamy, P., Morvan, X., Arrouays, D., Jones, R.J.A., Verheijen, F.G.A., Kibblewhite, M.G., Verdoodt, A., Bérnyi-Uveges, J., Freudenschuss, A., Simota, C. 2008 - Will European soil-monitoring networks be able to detect changes in topsoil organic carbon content? *Global Change Biology*. 14 : pp. 2432-2442.
- Ulrich E., 1995 - Le réseau Renécofor: objectifs et réalisation. *Revue Forestière Française*, XLVII - 2 : pp. 107-124.
- Villanneau E., Saby N., Arrouays D., Jolivet C., Boulonne L., Caria G., Barriuso E., Bispo A., Briand O., 2009 - Spatial distribution of lindane in topsoil of northern France. *Chemosphere*, 77 : pp. 1249-1255.

