



HAL
open science

Le programme Inventaire Gestion Conservation des Sols de France : volet Référentiel Régional Pédologique

Bertrand Laroche, Anne C Richer-De-Forges, Sandrine Leménager, Dominique D. Arrouays, Nathalie Schnebelen, Micheline Eimberck, Benoit B. Toutain, Sébastien Lehmann, Marie-Eugénie Tientcheu Nguenkam, Florence Héliès, et al.

► To cite this version:

Bertrand Laroche, Anne C Richer-De-Forges, Sandrine Leménager, Dominique D. Arrouays, Nathalie Schnebelen, et al.. Le programme Inventaire Gestion Conservation des Sols de France : volet Référentiel Régional Pédologique. *Étude et Gestion des Sols*, 2014, 21 (1), pp.25-36. hal-02641576

HAL Id: hal-02641576

<https://hal.inrae.fr/hal-02641576>

Submitted on 28 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Le programme Inventaire Gestion Conservation des Sols de France: Volet Référentiel Régional Pédologique

B. Laroche^(1*), A.C. Richer de Forges⁽¹⁾, S. Leménager⁽²⁾, D. Arrouays⁽¹⁾, N. Schnebelen⁽¹⁾, M. Eimberck⁽¹⁾, B. Toutain⁽¹⁾, S. Lehmann⁽¹⁾, E. Tientcheu⁽¹⁾, F. Héliès⁽¹⁾, J-P. Chenu⁽¹⁾, S. Parot⁽¹⁾, S. Desbourdes⁽¹⁾, G. Girot⁽⁴⁾, M. Voltz⁽³⁾ et M. Bardy⁽¹⁾

1) INRA, US1106, Infosol, F-45075 Orléans, France

2) Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, AAF, DGPAAT, SSADD, SDBE, BSE, 3, rue Barbet de Jouy F-75349 Paris, France

3) INRA, UMR1221, LISAH, F-34060 Montpellier, France

4) INRA, UR0272 Science du Sol, F-45075 Orléans, France

*: Auteur correspondant: bertrand.laroche@orleans.inra.fr

RÉSUMÉ

Cet article a pour objectif, un peu plus de dix ans après la mise en place du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol, de faire un état de l'art sur l'avancement du volet RRP du programme national IGCS. Ce volet initié au début des années 90 vise à produire une cartographie des sols à 1/250000 sur le territoire français. Bien que les débuts aient été difficiles, l'adhésion des différentes régions s'est faite progressivement, et il ne reste aujourd'hui que quelques départements à engager. Dans cet article, il s'agit en particulier de décrire et d'analyser les évolutions du cadre de collecte, du partenariat, de l'acquisition et de la vérification des données, ainsi que de la valorisation qui en est faite. Ces différents éléments permettent enfin de dégager des perspectives pour le programme.

Mots clés

Cartographie, sol, base de données, inventaire, DoneSol, IGCS, GIS Sol.

SUMMARY**FRENCH SOIL MAPPING AND INVENTORY PROGRAMME: Regional Soil Referential**

This paper aims, about ten years after the establishment of GIS Sol, to draw a state of the art on the progress of R.R.P. component of the French Soil mapping and inventory programme (IGCS). This programmes initiated in the beginning of the 90's aims to produce a soil map at 1/250000 scale in France. Although the beginnings were difficult, membership in different regions has been gradual, and there are now only a few departments that are not yet involved. In this paper, we describe and analyze trends in collection framework, partnership, acquisition and check of data, and the use that is made from the maps. These different elements are finally used to identify some prospects for the programme.

Key-words

Mapping, soil, databases, inventory, survey, DoneSol, IGCS, GIS Sol.

RESUMEN**EL PROGRAMA INVENTARIO GESTIÓN CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS DE FRANCIA (IGCS): parte Referencial Regional Pedológico (RRP)**

Este artículo tiene como objetivo, un poco más de diez años después de la creación de la Agrupación de Interés Científico Suelo, hacer un estado sobre el adelanto de la parte RRP del programa nacional IGCS. Esta parte empezada al principio de los años 90 para producir una cartografía de suelos a 1/250000 sobre el territorio. Aunque los inicios fueron difíciles, la adhesión de diferentes regiones se hizo progresivamente, y queda solamente hoy en día algunos departamentos a iniciar. En este artículo, se trata en particular describir y analizar las evoluciones del cuadro de la colecta, de la colaboración, de la adquisición y de la verificación de los datos, así que de la valorización realizada. Estos diferentes elementos permiten por fin identificar perspectivas para el programa.

Palabras clave

Cartografía, suelo, base de datos, inventario, DoneSol, GIS suelo.

Les besoins en informations sur les sols sont croissants. Les propriétés des sols présentant une forte variabilité spatiale, il est en effet important de disposer de données d'inventaire à une échelle adaptée pour les gérer au mieux. Le potentiel d'utilisation des données sur les sols est très large en termes de thématiques. Les données sont le plus fréquemment sollicitées pour des applications environnementales, des évaluations de risques et dans le cadre de problématiques d'aménagement du territoire (Le Bas *et al.*, 2004; Le Bas et Schnebelen, 2006). Pour répondre à ces demandes d'informations, les inventaires cartographiques, initiés dans les années 60, se sont poursuivis à différentes échelles et se sont structurés en un programme national unique: Inventaire Gestion et Conservation des sols (IGCS). Ce programme est aujourd'hui piloté par le Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (GIS Sol) dont la mission principale est de constituer et gérer un système d'information (SI) national sur les sols de France. La stratégie principale est de capitaliser sous un format unique les données pédologiques anciennes et d'en acquérir de nouvelles à différentes échelles, avec la priorité d'obtenir à court terme une couverture nationale des sols compatible avec une restitution à l'échelle du 1/250000.

Le programme Inventaire Gestion et Conservation des sols (IGCS) est un programme visant à inventorier les sols à des échelles diverses. Les informations ainsi recueillies permettent de constituer une représentation cartographique de la répartition spatiale des sols, sous forme d'Unités cartographiques de sols UCS, (Arrouays *et al.*, 2004), associée à une base de données au format national DoneSol (Grolleau *et al.*, 2004). Le programme IGCS comporte 3 volets définis selon l'échelle de représentation. Le premier est le Référentiel Régional Pédologique (RRP) qui vise à produire une information sur la connaissance des sols restituée à une échelle 1/250000. Le deuxième est le volet Connaissance Pédologique de la France (CPF), qui s'intéresse aux échelles moyennes (1/100000 à 1/50000) et dont l'objectif est d'améliorer la connaissance de la diversité des sols et de leurs lois de répartition sur la base de leurs facteurs de formation (Richer de Forges *et al.*, 2014). Enfin, le troisième est le volet Secteur de Référence (SR) visant à réaliser des études pédologiques à grande échelle (de l'ordre de 1/10 000) permettant de traiter des questions agricoles ou environnementales à l'échelle locale, avec la possibilité de les extrapoler sur une petite région naturelle (Favrot, 1989).

Ces trois volets ont en commun:

- i) qu'ils reposent sur la coordination par l'Inra InfoSol d'un ensemble de partenaires régionaux ayant des compétences en pédologie et qui assurent la mise en œuvre des programmes au niveau local;
- ii) une démarche harmonisée d'acquisition des données, décrite en détail par Arrouays *et al.* (2004);
- iii) la capitalisation de l'ensemble des données recueillies au

sein d'un système d'information national unique, au format DoneSol (Grolleau *et al.*, 2004);

- iv) une cohérence scientifique assurée par le Conseil Scientifique national (CS IGCS).

Cet article a pour objectif, un peu plus de dix ans après la mise en place du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol, de faire un état de l'art sur l'avancement du volet RRP du programme national IGCS. Il s'agit en particulier de décrire et analyser les évolutions du cadre de collecte, du partenariat, de l'acquisition et de la vérification des données, ainsi que de la valorisation qui en est faite. Ces différents éléments permettent enfin de dégager des perspectives pour le programme.

ÉVOLUTION DU CADRE DE COLLECTE DES DONNÉES

Documents de référence

La collecte des données est régie par le Cahier des Clauses Techniques Générales ou CCTG (InfoSol, 2005; réactualisation en cours) qui définit les règles pour la constitution d'un RRP. Initié en 1993 (Inra, 1993), ce document définit les acteurs et leurs rôles dans le projet, il donne des indications sur la conduite de l'étude, des travaux, et sur l'informatisation, la vérification et la présentation des données. Enrichi en 2005, ce document reste la référence pour la réalisation des RRP. Une réflexion est en cours au niveau du CS IGCS pour réactualiser le CCTG en l'adaptant aux versions successives de la base de données (passage à DoneSol2 en 2002 et passage à DoneSol3 en 2012) et en essayant d'intégrer près de 25 ans d'historique du programme IGCS ainsi que les évolutions techniques dans l'acquisition des données d'inventaire.

La publication de la norme NF X31-560 (AFNOR, 2007) a aussi renforcé le cadrage et la normalisation des programmes d'acquisition des données pédologiques. Elle précise les modalités de réalisation et de validation d'une cartographie numérisée des sols. Elle est en cohérence avec le CCTG mais s'applique quelle que soit l'échelle de représentation. Chaque niveau de résolution choisi induit une densité minimale d'observations, définie dans la norme NF X31-560. La norme décrit aussi le mode d'acquisition et d'organisation des données en vue de leur numérisation, la gestion informatique des données et les méthodes de validation de ces données.

Outils et méthodes

Cette partie a pour objectif de faire une synthèse des évolutions observées ces dix dernières années dans les modalités de réalisation des travaux de cartographie des sols au 1/250000 du programme IGCS, au travers des différentes étapes.

Pour la phase préparatoire à l'acquisition

La première étape avant de démarrer la cartographie d'un secteur est de rechercher les données anciennes déjà disponibles. Pour appuyer les pédologues dans cet inventaire, le GIS Sol a mis à disposition un outil de consultation: Refersols (<http://Refersols.gissol.fr>, consulté le 30/10/2014). Il référence les études pédologiques existantes avec une recherche possible par commune, canton, département, région et fournit des métadonnées concernant les études référencées. Il facilite ainsi ce travail d'inventaire. Le nombre d'études référencées dans Refersols a évolué de 3150 en 2007 à 5581 en 2014. Son enrichissement se poursuit de façon continue.

Il est aussi important de consulter les différents organismes locaux (Chambre d'Agriculture, DRAAF, ONF, CRPF, Agence de l'eau...) qui auraient pu commanditer des études et ainsi venir enrichir l'information disponible. Les informations recherchées sont de différentes natures: sondages, profils analysés, cartes des terres agricoles, cartes de végétation, cartes de sols, cartes thématiques; et peuvent: i) faire l'objet d'un enregistrement dans Refersols, ii) d'une saisie dans DoneSol, iii) d'une mise en format numérique par un scan, iv) d'un archivage papier par l'unité Inra InfoSol. Le but étant ici de sauvegarder et de capitaliser les études existantes, tout en les portant à connaissance.

Pour la phase de terrain

Suite à ce premier inventaire des données pédologiques et de toutes les données disponibles sur le milieu (géologie, MNT, carte de végétation...), le pédologue-cartographe établit des premières hypothèses de répartition des sols. Ces premières lois de répartition des sols font le plus souvent appel à l'expertise pédologique, mais elles peuvent être aussi définies sans *a priori* par des méthodes de cartographie numérique (Lagacherie et al., 2013; Lemercier et al., 2012; Laroche et al. 2013; Lehmann et al., 2013). Ces hypothèses orientent la répartition des observations terrain. Les milieux plus complexes sont prospectés avec une densité plus importante que sur les zones homogènes où l'on privilégie des sondages de contrôle avec une densité plus faible. La densité globale des sondages doit être conforme à la norme NF-X31-560. Cette phase de sondages va définir les différents types de sols rencontrés dans un secteur et valider ou non les hypothèses de répartition des sols. Les sondages vont permettre de choisir la localisation des fosses pédologiques caractéristiques des types de sol. Ces dernières sont décrites suivant le format DoneSol, photographiées, échantillonnées sur chaque horizon et analysées.

L'ensemble de ces données d'observations, combiné à une lecture du paysage, permet de définir des ensembles paysagers homogènes appelés « pédopaysages » à l'échelle des RRP ou Unités Cartographiques de Sols (UCS). Ces UCS, issues du regroupement de plusieurs types de sols ou Unités Typologique de Sols (UTS), sont les plages de sols représentées sur la carte. Leur numéro fait le lien entre les polygones (partie graphique)

et la base sémantique (les données contenues dans DoneSol).

La digitalisation des tracés des UCS se fait généralement soit à partir des minutes de terrain (tracés des UCS sur carte papier) soit à l'écran.

Chaque polygone ainsi créé est indexé par son numéro d'Unité Cartographique de Sol. Ce dernier permet de faire le lien avec la base sémantique (en format DoneSol).

Pour la phase de constitution de la base de données DoneSol

Depuis le début du programme, l'objectif est la création d'une base de données nationale sur les sols centralisée à l'Inra d'Orléans, qui en assure la maintenance et la sauvegarde. La saisie dans DoneSol a évolué au cours du temps, avec au début des années 90 un guichet unique pour la saisie des données au SESCO (Service d'Étude des Sols et de la Carte Pédologique de France), puis une ouverture partielle très sécurisée via le FTP (*File Transfer Protocol*). Compte-tenu de la lourdeur et de la lenteur de cette saisie, une réflexion avait été menée pour conduire à la production d'un outil de saisie DoneSol PC à installer en local (*figure 1A*). L'injection dans la base nationale se faisait *a posteriori*, par envoi de bases de données. Ce fonctionnement génèrait de nombreux problèmes inhérents à ce type d'opération (peu de contrôle en entrée, erreurs d'injection, lourdeurs dans les mises à jour du logiciel...). De plus, l'outil ne pouvait être actualisé suivant les évolutions de la base de données. Pour éviter ces problèmes, une interface web DoneSolWeb a été développée (Grolleau et al., 2004) à partir de la structure DoneSol 2. Cet outil a été mis à jour en 2012 avec l'évolution de la structure en DoneSol3, avec un point d'attention particulier porté à l'ergonomie (*figure 1B*).

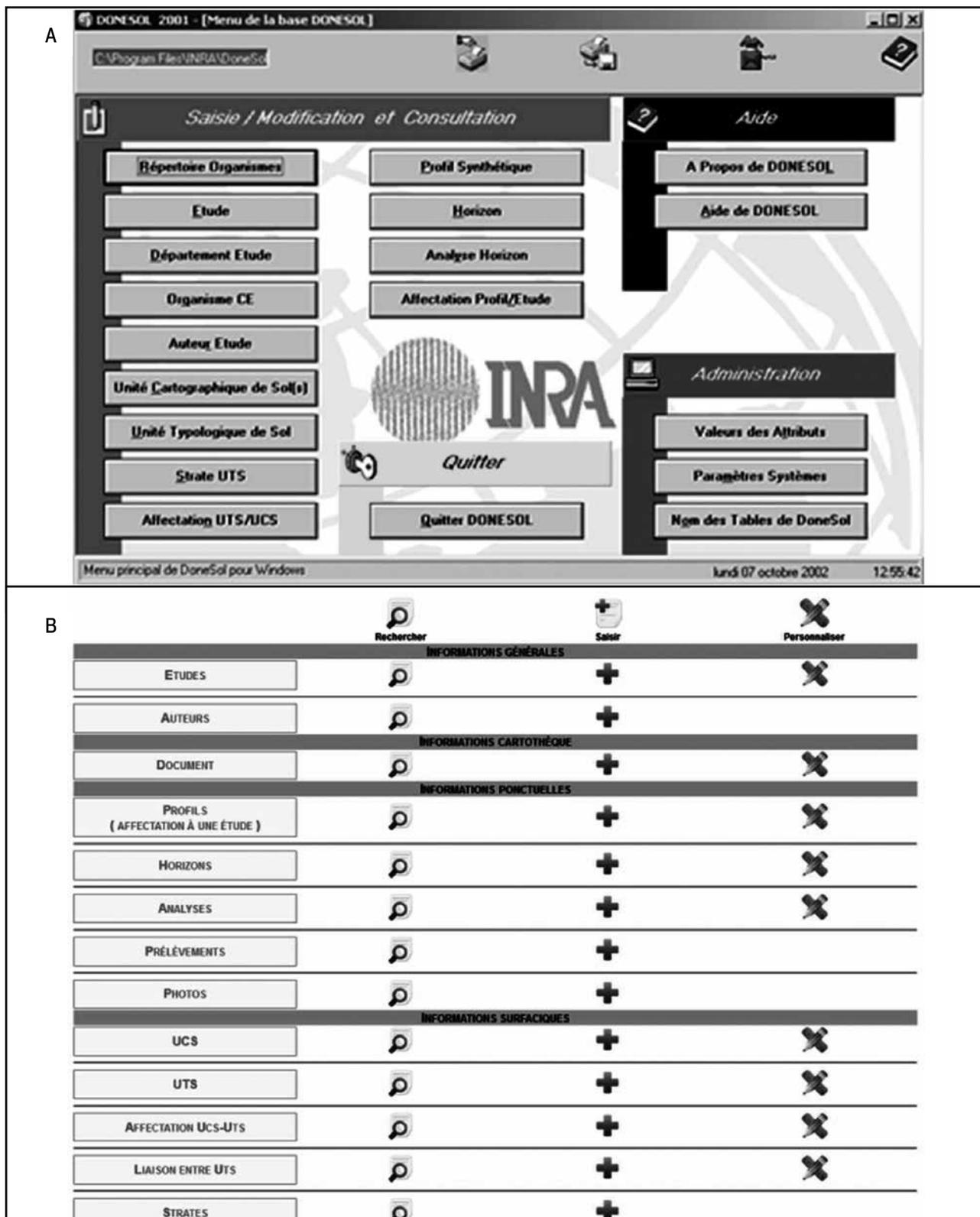
Les données saisies sont de 2 natures: celles qui concernent les données surfaciques (UCS, Unités Typologiques de Sols (UTS)) et les données ponctuelles (profils, sondages, analyses agronomiques, profils synthétiques, composites...).

L'objectif de ces saisies est de capitaliser au maximum les points d'observation. De nombreux partenaires font le choix d'enregistrer dans la base de données les sondages (Seine-et-Marne, Loiret, Somme, Nièvre, Bretagne, Landes...). Bien que l'investissement en temps de saisie reste important, ces données, ainsi capitalisées, pourront alors être accessibles et remobilisées très facilement pour une nouvelle étude. L'ergonomie offerte aujourd'hui par l'interface DoneSolWeb permet une simplification et une personnalisation des écrans de saisie pour un enregistrement simplifié des sondages (choix des paramètres à afficher, de leur ordre...).

DoneSol est construit de manière évolutive, il peut être enrichi par i) l'intégration de nouvelles informations (exemple: capacité de rétention en eau, etc.) ou de nouvelles fonctionnalités (outils d'export, etc.), ii) une meilleure ergonomie des interfaces.

L'aspect exhaustif de DoneSol pourrait effrayer dans le sens où il y a une multitude de champs qui peuvent potentiellement

Figure 1 - Interface de DoneSol PC (A), DoneSolWeb (B).
 Figure 1 - DoneSol PC (A) and DoneSolWeb (B) interface.



être renseignés. La règle n'est pas de renseigner tous les champs mais de rester cohérent par rapport à l'information dont on dispose et à sa pertinence suivant l'échelle de représentation visée et le contexte régional. L'effet inverse serait de saisir uniquement les informations indispensables pour répondre à une question posée: saisie des paramètres nécessaires pour construire une carte des zones humides, une carte d'aptitude, etc. La saisie des autres paramètres deviendrait alors très optionnelle. La conséquence serait une base à très faible potentiel en matière d'utilisations variées avec un retour régulier nécessaire pour compléter les données manquantes.

Afin d'être conforme aux champs de la base de données, des fiches papiers de description pédologique ont été établies. Des outils de saisie *in situ* ont été développés et utilisés dans 2 régions: en Bourgogne par AgrosupDijon et en Bretagne par AgroCampus ouest. Basés sur le logiciel Arcpad de la société *ESRI*, compatibles avec des appareils de type PDA ou ordinateurs durcis, ils permettent d'enregistrer les données, lors de leur observation, et en intégrant une géolocalisation par GPS. Au retour du terrain, les données recueillies sont transférées et intégrées dans la base de données. Malgré une prise en main assez longue et des risques de pertes de données, cette saisie *in situ* permet de faciliter la saisie des sondages, ce qui n'est pas systématiquement fait dans toutes les régions. Par contre, ce type de dispositif ne permet pas de suivre « en direct » les évolutions de la base de données. A chaque modification, une mise à jour doit être faite sur l'outil.

Les bases graphiques sont constituées et gérées grâce à un Système d'Information Géographique ou SIG. Elle sont gérées, actuellement, à InfoSol indépendamment de DoneSol. L'informatisation des cartes représente une évolution considérable qui a permis de passer de la carte papier à la carte dynamique. L'utilisation du SIG a pour conséquences: une vectorisation des minutes de terrain plus rapide, une construction facilitée des cartes, la possibilité de superposition d'autres couches de référence etc. En revanche, la facilité de croisement géographique des informations a parfois pour conséquence une utilisation abusive conduisant à des aberrations scientifiques comme une représentation des informations au-delà des résolutions acceptables. Ce sont par exemple des croisements d'informations du RRP avec des informations parcellaires qui sont un non-sens scientifique car les résolutions de ces deux couches graphiques ne sont pas compatibles.

Pour la vérification des données

La valorisation des données est un point très important dans le programme IGCS mais il est pour cela primordial que l'utilisateur dispose d'une donnée de qualité; c'est pour cette raison que des procédures de vérifications des données ont été mises en place.

Sur la partie graphique, les procédures vérifient le géoréférencement, la topologie, et l'adéquation des UCS définies dans DoneSol avec celles de la couche graphique. Les premières vérifications des données sémantiques se font dès leur entrée dans le système d'information. De nombreuses contraintes ont été mises en place au niveau de l'interface de saisie DoneSolWeb afin de limiter l'entrée de données erronées ou aberrantes. Ce sont par exemple des valeurs numériques à la place d'un format texte, des codes qui ne sont pas identifiés dans le dictionnaire DoneSol (Inra, 2013), des champs qui ne peuvent pas être informés sans les renseignements préalables d'autres champs (Laroche et Doux, 2007)... A la suite de la saisie complète des données, des vérifications de la qualité des données sont également réalisées *a posteriori*. Ces vérifications, initialement manuelles via des requêtes SQL, ont évolué à présent vers un outil Web: SIVERCOH (Système d'Information développé pour la VERifications de la COHérence des données). Il permet de faciliter le lancement des requêtes, de les organiser par thème, de gérer les anomalies sous la forme d'un rapport avec la possibilité d'intégrer des justifications et avec un souci de suivi et de traçabilité constant. L'automatisation n'est pas possible pour toutes les vérifications, certaines sont encore réalisées de manière experte et manuellement (cohérence des noms d'UTS, de la description globales des strates, etc.).

Différents points sont testés i) cohérence des données entre elles ii) adéquation des informations aux classifications de référence comme le Référentiel Pédologique (AFES, 2008) iii) conformité par rapport aux CCTG (Infosol, 2005).

Suite à cette expertise, un retour est fait au chargé d'étude sous la forme de demandes de mises en conformité. Il lui revient de corriger les données; plusieurs allers-retours peuvent être effectués avant d'obtenir une base conforme au CCTG.

Appui technique et animation

InfoSol à la charge de la coordination du programme IGCS. Outre le suivi technique et l'animation du réseau, l'unité, en concertation avec le CS IGCS et les membres du GIS Sol, a toujours souhaité favoriser les échanges au travers des actions suivantes:

- Des formations à l'utilisation de la base de données DoneSol ont été mises en place dès 2005. Elles sont gratuites et ouvertes à tous, des contributeurs aux utilisateurs des bases de données. Cette formation est l'occasion, d'une part, de prendre contact avec nos partenaires actuels ou futurs, et d'autre part, de prévenir les erreurs éventuelles dans les bases de données futures ou en cours de constitution. Elles sont réalisées au rythme de 3 par an avec en moyenne 8 personnes formées par session. (Richer de Forges et al., 2013)
- Des listes de diffusions (igcs_reg, igcs_general, donesol_users) ont été activées. Les listes de diffusion IGCS concernent

spécifiquement les acteurs intervenant sur les programmes d'inventaires. La liste `doneSol_users` est la plus active et celle dont la diffusion est la plus large. Chaque demande d'ouverture de compte DoneSolWeb induit une inscription automatique sur cette liste. Outre sa double fonction d'échanges et de « hot-line », elle permet d'informer des nouvelles améliorations de l'interface de la structure, des maintenances, etc.

- Un séminaire est organisé tous les deux ans en région. C'est un lieu de rencontre et d'échange pour l'ensemble des intervenants sur le programme IGCS et un point d'étape dans l'avancée des travaux. Il permet aussi un focus sur la région organisatrice, qui généralement, lors des premiers séminaires, démarrait le projet RRP. Aujourd'hui, le séminaire est fréquemment l'occasion de la remise du diplôme attestant de la qualité du référentiel régional signifiant que le RRP produit a été vérifié et corrigé. Il inclut également un programme de conférences et d'exposés d'avantage tourné vers des problématiques de valorisation des données et de mutualisation des outils de diffusion des données.

EVOLUTION DU PARTENARIAT

Enrichissement du partenariat

Lors du démarrage du volet RRP du programme IGCS, seules étaient impliquées des unités de l'Inra pour la mise en place et le test de la méthodologie (Languedoc-Roussillon (Bornand *et al.*, 1994), Loiret (Arrouays *et al.*, 1989)). Puis cette maîtrise d'ouvrage a été progressivement confiée à des partenaires régionaux, qui étaient historiquement déjà impliqués dans la cartographie des sols. La structuration s'est poursuivie en 2001 avec la création du GIS Sol. L'objectif du GIS Sol 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. La coordination nationale reste à la charge de l'Inra par l'intermédiaire de l'unité InfoSol. Le fonctionnement en réseau induit aussi pour InfoSol un travail important de coordination, avec un nombre de partenaires qui a été croissant en fonction de l'avancée du projet.

Les premières années, étaient impliqués: la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne, des chambres d'Agriculture, la Société du Canal de Provence. Puis le partenariat s'est élargi à de nouvelles chambres d'Agricultures, aux écoles supérieures d'agronomie (AgroBordeaux, AgroSupDijon, AgroCampus Ouest, VETAGROSup, ENSAT), à des associations (ARAA). Puis récemment il s'est encore élargi par le nombre et par la diversité des organismes (*figure 3*) avec l'implication de la SAFER en Basse Normandie ou du Conservatoire des Espaces Naturels en Haute-Normandie. L'ensemble des partenaires régionaux est représenté en *figure 2*.

Sources de financement

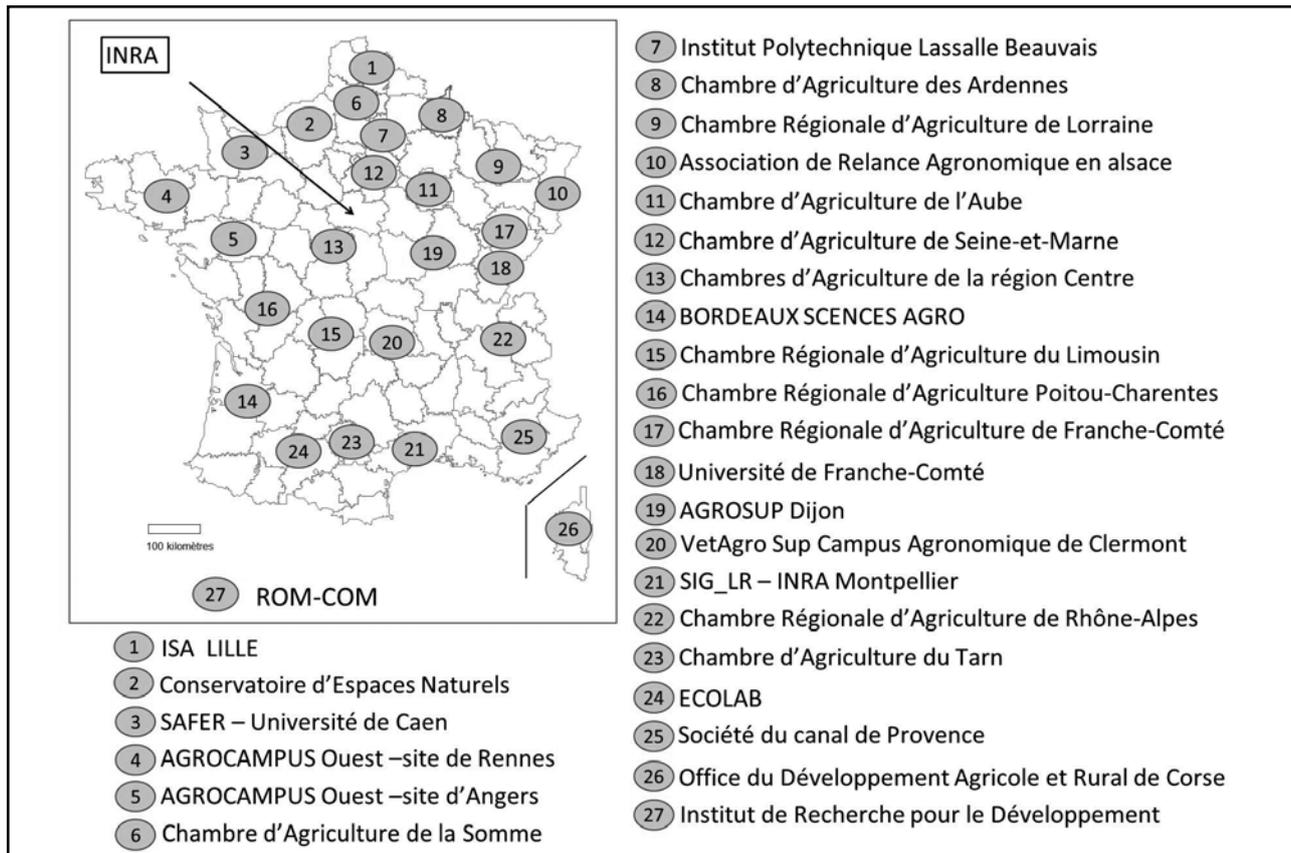
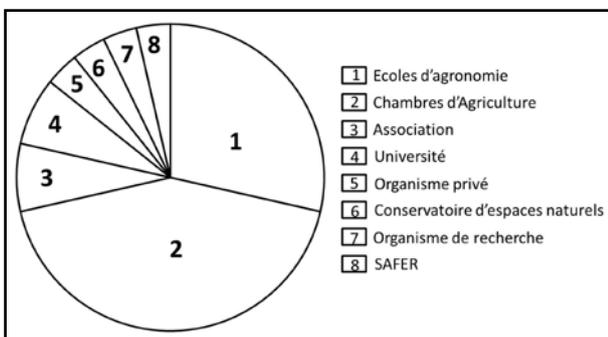
Au cours de ces dernières années, chaque RRP a bénéficié d'un montage financier particulier et les sources de financement ont été diverses (autofinancement, ministère en charge de l'agriculture, Agences de l'eau, Europe, collectivités territoriales...). Chaque année, des demandes financières sont effectuées auprès du Ministère en charge de l'Agriculture dans le cadre de sa participation au GIS Sol. Elles sont instruites par le Conseil Scientifique IGCS qui émet un avis sur leur qualité scientifique et leur cohérence avec les orientations du programme IGCS. Cet avis est ensuite relayé au Ministère qui arbitre l'attribution des subventions en fonction des crédits disponibles et établit les conventions pour la mise à disposition des fonds. Les fonds nationaux ne sont pas les seuls mobilisés en région, la partie Ministère en charge de l'Agriculture représente environ 20 % d'un budget total avec un apport annuel d'environ 300 k€. Ils constituent cependant un effet de levier important pour constituer un tour de table financier.

Le principe général du financement des RRP est le suivant: la participation du Ministère en charge de l'Agriculture est abondée par des financements de provenance diverse (CR, CG, européens, etc.) et de l'autofinancement de la structure porteuse. Ce fonctionnement a aussi son revers avec des financements annuels nationaux à répartir, en fonction des travaux qui pourront être engagés, à l'ensemble des partenaires. Ce fonctionnement annualisé des crédits ne permet pas d'avoir une lisibilité à long terme et a parfois été la cause du non aboutissement du montage du projet mais aussi d'une lenteur du projet dans certaines régions ou départements.

La révision des Zones Défavorisées Simples, décidée par la Commission Européenne a permis de mobiliser au titre du programme 2007-2013, à ce jour, 1,70 M€ du Fond Européen Agricole pour le Développement Rural (FEADER) et a ainsi constitué dès 2011 un facteur d'accélération de l'avancée des RRP. Ces fonds ont permis d'accélérer les levés et les mises en base de données puisque cette révision s'appuie sur les données Sols au 1/250000 pour définir les critères biophysiques déterminants pour le classement des communes. Ces critères, combinés à des critères socio-économiques, vont permettre d'identifier les communes présentant une contrainte vis-à-vis du milieu naturel. Ce classement permet aux agriculteurs de toucher des aides dans le but de pallier ces contraintes. Cette révision ne s'applique pas aux zones classées en montagne telles qu'elles ont été définies dans le règlement 1257/1999 de la commission européenne.

Modalités de mise en œuvre

La réalisation d'un RRP sur une région ou un département se fait généralement à l'initiative d'un partenaire en local qui

Figure 2 - Partenaires IGCS.**Figure 2** - Partners of the IGCS programme.**Figure 3** - Typologie des organismes partenaires.**Figure 3** - Types of partner organizations.

dispose soit de la compétence pédologique soit d'une légitimité régionale ou départementale sur ce sujet. Il est garant de la conduite des travaux et de l'adéquation des moyens financiers avec l'avancée et la restitution des travaux.

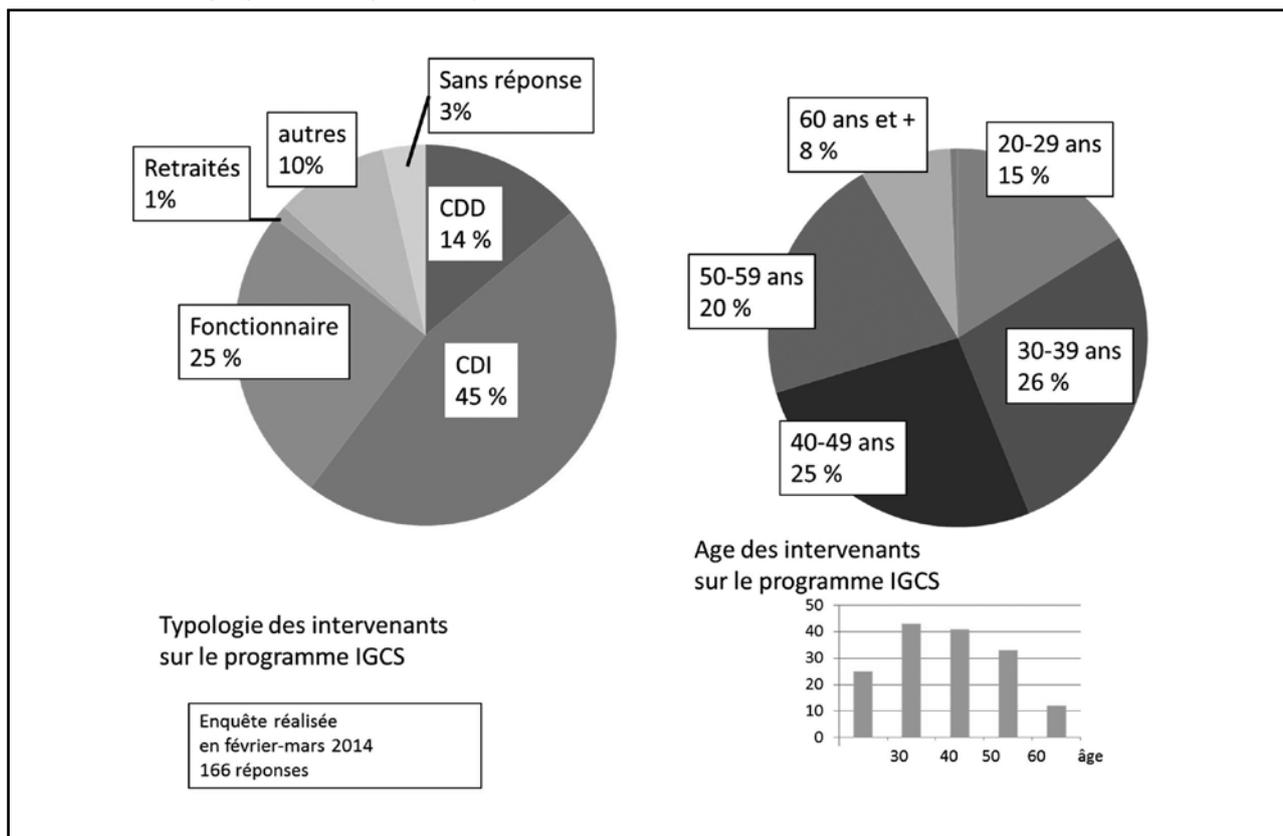
Le porteur du projet est en général chargé de la constitution et ensuite de la gestion de la base de données départementale ou régionale numérisée sur les sols. Il propose

un projet technique, un calendrier et un tableau prévisionnel des financements. Sur les RRP réalisés, plusieurs cas se sont présentés dans la réalisation des travaux:

- La structure dispose d'un pédologue-cartographe: le bénéfice est un renforcement de l'expertise pédologique en local, une pérennisation de la base, et une meilleure valorisation. Par contre, la synthèse à 1/250000 est une échelle inhabituelle pour bon nombre d'experts impliqués dans des expertises locales, ce qui a parfois perturbé l'appréciation du travail à réaliser et sa finalisation dans les délais.

- La structure ne dispose pas des compétences en pédologie, elle doit recruter du personnel non permanent pour réaliser le travail. La première difficulté est de trouver la personne avec les compétences nécessaires. Passée cette première étape, il est parfois difficile de faire vivre la base de données avec des compétences qui, une fois le contrat passé, ont quitté la structure. La qualité du suivi et la traçabilité sont alors des points importants à mettre en œuvre pour garder une complète maîtrise des processus.

- La sous-traitance à un bureau d'étude extérieur, génère les mêmes conséquences que le cas précédent.

Figure 4 - Profils des personnes ayant répondu à l'enquête.**Figure 4** - Profiles of people answering the survey.

• Dans certaines régions, les travaux ont été réalisés par l'Inra du fait de compétences particulières. L'utilisation de la base de données alors produite est favorisée lorsque la réalisation du RRP s'est accompagnée de la mise en place d'un partenariat avec une structure locale susceptible ensuite de faire vivre la base de données. Celle-ci n'est cependant pas toujours possible, en fonction du contexte régional.

L'investissement local dans le montage du projet et dans sa réalisation génère une implication plus forte et une volonté de valoriser ces données nouvellement acquises, avec une expertise sur les données en local. L'expérience montre que si l'implication vient *a posteriori* de la constitution du RRP, la base de données « vivra » plus difficilement avec un risque d'essoufflement assez rapide.

Pour compléter cet état des lieux, une enquête a été réalisée à l'initiative du Conseil Scientifique IGCS sur les opérateurs intervenant sur le programme IGCS. Les premiers résultats sont présentés en *figure 4*. 70 % des intervenants sur le programme IGCS ont un emploi permanent (CDI ou fonctionnaire), seulement 14 % sont en CDD. A noter également que 20 % des personnes qui ont répondu à cette enquête ont plus de 50 ans. Cette analyse globale est à compléter par une

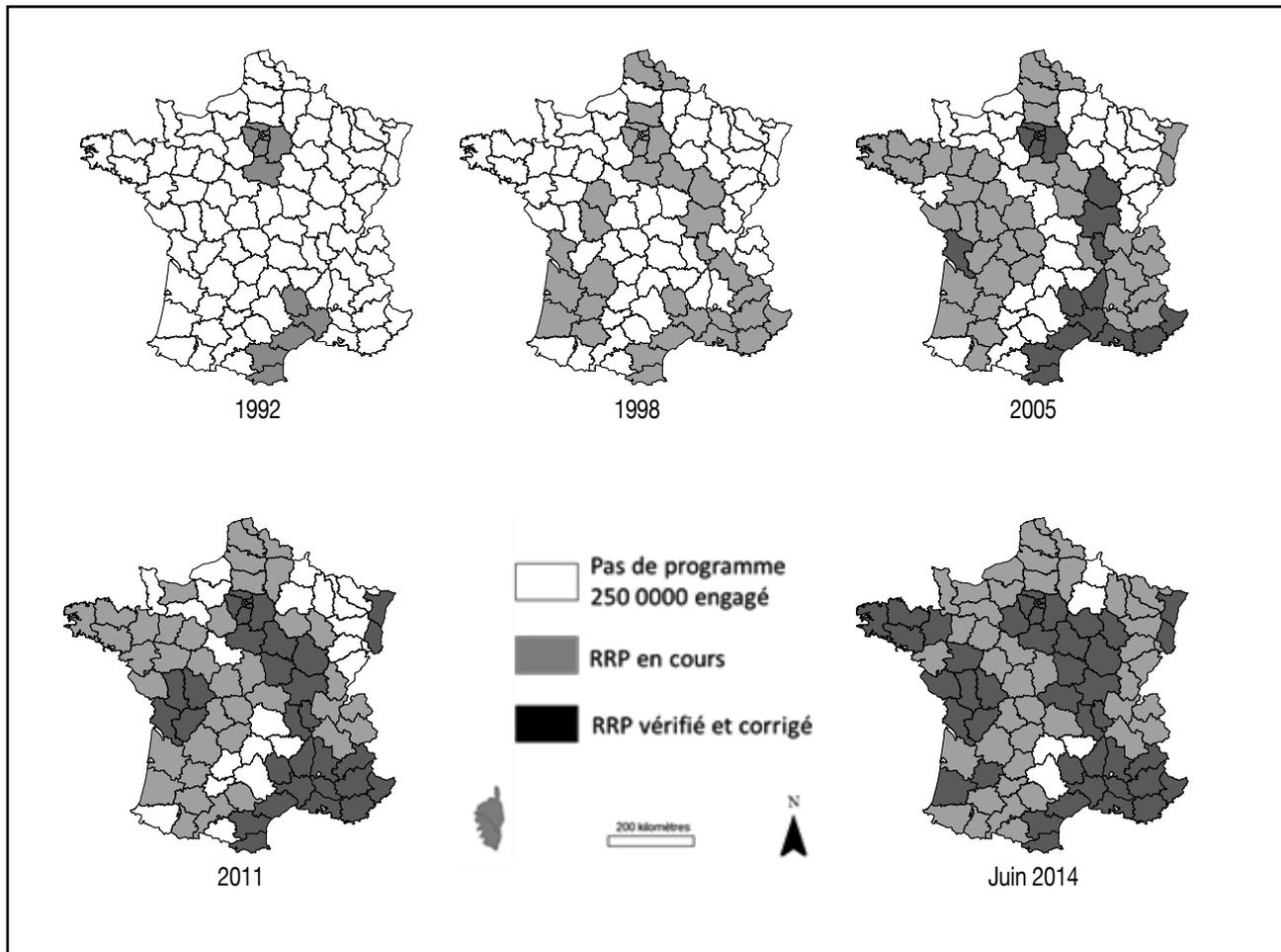
analyse de la situation dans chaque région, la répartition des forces impliquées sur le programme n'étant pas homogène au niveau national.

Le réseau a aussi généré une « communauté IGCS », qui échange et partage ses expériences dans la capitalisation ou la valorisation des données au travers des listes de diffusion des séminaires. L'émergence d'un « Groupe Projet », puis du RMT Sols et Territoires (<http://www.sols-et-territoires.org/>), la mutualisation d'outils tels que Websol (Vinatier *et al.*, 2013) ou Applicasol (base de données référençant les applications utilisant les données sol, Girot *et al.* 2014) en sont les meilleurs exemples (Guellier *et al.* 2014).

AVANCEMENT DU PROGRAMME

Avancement de la collecte et de l'informatisation des données

La constitution des RRP sur la France entière peut être considérée comme un marathon, débuté depuis plus de 20

Figure 5 - Etat d'avancement des RRP à différentes dates.**Figure 5** - Profiles of people ansState of progress of regional mapping.

ans, et jalonné de différents points d'étape qui ont accéléré sa mise en place dans les différentes régions. Lancé au début des années 90, le programme était conduit par l'Inra sur l'Île de France, le Loiret et le Languedoc Roussillon (figure 5). D'autres partenaires, hors Inra, ont rejoint le projet dès le milieu des années 90: Rhône-Alpes, Poitou-Charentes, Aquitaine, Bourgogne, Nord-Pas-de-Calais, Provence-Alpes-Côte-D'azur. Suite au rapport Bornand, (1997), le GIS Sol s'est mis en place en 2001 et l'unité Inra InfoSol a été créée simultanément pour coordonner ses programmes. Ces deux événements marquent une nette accélération de la constitution des Référentiels Régionaux Pédologiques avec leur lancement en Bretagne, Limousin, Alsace, Centre. Grâce à des financements supplémentaires mobilisés par le Ministère en charge de l'Agriculture (fonds FEADER) depuis 2011 et malgré des délais très contraints, les RRP ont débuté dans les régions suivantes: Auvergne, Midi-Pyrénées, Lorraine, Franche-Comté, Basse-Normandie,

Haute-Normandie. D'autres régions, déjà engagées, ont pu bénéficier de cet appui financier (figure 5). Le RRP de la région Haute-Normandie a été initié en 2014 mais cette région devra encore mobiliser des crédits pour couvrir l'ensemble de son territoire. Fin 2014, seuls les départements de la Marne, des Ardennes (ou seule la partie Nord a été cartographiée), du Cantal, une partie du Puy-de-Dôme, de la Haute-Loire et de l'Aveyron ne sont pas encore engagés dans un programme de finalisation du RRP sur l'ensemble de leur territoire. Des efforts importants sont faits pour essayer d'enclencher la cartographie au 1/250000 dans ces derniers secteurs pour une finalisation France entière dans le cadre de la convention du GIS Sol qui se termine en 2017.

Attribution des niveaux de qualité

La vérification des données collectées dans le cadre des Référentiels Régionaux Pédologiques s'inscrit dans une

démarche plus large d'attribution d'un niveau de qualité sur les produits du 1/250000 délivré par le Ministère en charge de l'Agriculture. Cette procédure a été décrite par Laroche et Doux, (2007). Suite aux corrections effectuées par le maître d'ouvrage, la base de données est expertisée par deux experts pédologues-cartographes qui proposent un niveau de qualité. Ce dernier est alors soumis au Conseil Scientifique IGCS qui discute cette proposition et la soumet au Ministère en charge de l'agriculture qui seul décide de l'attribution d'un niveau de qualité. Trois niveaux de qualité sont définis, conformément au CCTG (*voir encadré*). Sous l'impulsion du CS IGCS leurs qualificatifs ont évolué courant 2013 en i) opérationnel, ii) avancé, iii) optimum, de façon à refléter les utilisations possible des bases de données. Ils sont présentés ci-après. Un des premiers critères d'évaluation est la densité d'observations mais d'autres sont aussi pris en compte (taux de renseignement des tables...).

A ce jour, six RRP ont obtenu le niveau de qualité opérationnel, vingt-et-un le niveau avancé, les autres RRP (la Côte d'Or, le Loiret, l'Alsace et l'Île-de-France) ont reçu le niveau de qualité optimum (*figure 6*).

Les départements du Maine-et-Loire, de la Vendée, des Landes, de la Gironde et du Loir-et-Cher sont d'ores et déjà engagés dans une démarche d'expertise. Celle-ci est très importante car elle est un gage de qualité et permet d'informer les futurs utilisateurs des bases de données. Il est à noter qu'un RRP peut-être enrichi au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles données et que son niveau de qualité peut donc être réévalué à la hausse. Un enrichissement conduit à la création d'une nouvelle version de la base de données.

La question de l'harmonisation

Le fonctionnement en local avec des partenaires de sensibilité différente, sur plus de 20 ans, a eu pour conséquence de produire des RRP dont la continuité entre départements voisins n'est pas toujours parfaitement respectée. Les explications sont multiples: hétérogénéité des données disponibles, évolution des concepts, désaccord entre pédologues voisins, durée et ancienneté du projet. Le constat est qu'un gros travail d'harmonisation graphique et sémantique doit être effectué pour produire à terme une carte au 1/250000 sur la France métropolitaine, nécessaire pour l'utilisation des bases de données sur des territoires allant au-delà d'une région. Ce travail a été initié fin 2013 et se poursuivra en 2015.

Valorisation des données

La règle du programme IGCS est que les bases des données doivent être construites sans *a priori*, c'est-à-dire sans présumer en amont les finalités d'utilisation de la base de données. Ils doivent être construits comme de véritables inventaires dont les informations seront ensuite extraites pour

Encadré 1 - Extrait du CCTG (InfoSol, 2005), définition des niveaux de qualité des RRP

Box 1 - Excerpt from the CCTG (InfoSol, 2005) definition of the RRP quality levels

Niveau de qualité opérationnel

1 sondage pour 600 ha, 1 fosse décrite et analysée pour 6000 ha

Il correspond aux Référentiels régionaux pédologiques pour lesquels: la surface des études existantes à des échelles plus précises ($\geq 1/100000$) représente moins de 10 % de la surface de la région; les levés cartographiques sur le reste de la région ont été réalisés à un niveau de résolution minimum; la quantité et la qualité relativement faibles des données numérisées (graphiques et sémantiques) ne permettent de fournir qu'un nombre limité de cartes thématiques.

Niveau de qualité avancé

1 sondage pour 400 ha, 1 fosse décrite et analysée pour 4000 ha

Il correspond aux RRP pour lesquels: la surface couverte par les études pédologiques préexistantes à des échelles plus précises ($\geq 1/100000$) représente 30 à 50 % de la région; le niveau de résolution des levés cartographiques réalisés pour le RRP est moyen, voire bon; la caractérisation des UCS, UTS, strates horizons et profils est assez riche pour permettre l'obtention de cartes thématiques variées.

Niveau de qualité optimum

1 sondage pour 200 ha, 1 fosse décrite et analysée pour 2 000 ha

Il correspond aux R.R.P. pour lesquels: plus de 50 % de la surface de la région a déjà été cartographiée à des échelles plus précises ($\geq 1/100000$); le niveau de résolution des levés réalisés sur la partie restante est très bon; le nombre de paramètres descriptifs cartographiques et ponctuels sont très nombreux offrant ainsi des possibilités accrues pour la production de cartes thématiques plus précises.

répondre aux diverses questions mobilisant les données sol. La base commune de départ est - et reste - la conformité au CCTG. En effet, on ne connaît pas *a priori* les problématiques nouvelles qui pourraient émerger dans les années à venir, et cela évite des allers-retours incessants et coûteux pour enrichir les bases de données au gré des nouvelles problématiques. L'inventaire pédologique qui est fait dans ce format national doit pouvoir répondre aux thématiques d'aujourd'hui et de demain sur l'ensemble du territoire.

Illustrations du potentiel des RRP

Une évolution sensible a été observée dans les champs thématiques des études mobilisant les données sol (Le

Bas et Schnebelen, 2006). La proportion de demandes sur des thématiques agricoles décroît tandis que l'inverse est observé pour les thématiques agro-environnementales. Les thématiques liées à l'aménagement du territoire sont par ailleurs en forte émergence ces dernières années.

En ce qui concerne les demandes institutionnelles, les données sol ont, par exemple, été sollicitées notamment pour :

- la révision des Zones défavorisées Simples (ZDS) demandée par la commission européenne et déjà évoquée précédemment;
- la définition des zones humides dans l'arrêté du 24 juin 2008 modifié (Laroche et al., 2014; MEDDE, GIS Sol 2013)
- la délimitation des milieux humides potentiels (Berthier et al., 2014).

Au fil des différents séminaires IGCS, les problématiques de la communauté IGCS (volet RRP) ont progressivement évolué de l'acquisition vers la valorisation des données. Bien que cet aspect était déjà au centre des discussions dès le séminaire de 2001, la mutualisation des moyens et des outils pour la valorisation des données a été portée par le « groupe Projet » pendant quelques années. Ce groupe, réunissant les partenaires régionaux pionniers dans la réalisation de leur RRP, avait pour objectifs principaux de mettre en commun leurs initiatives de valorisations des données et de mettre en place des modules de formation dédiés à l'utilisation des données en format DoneSol. Un second souffle a été donné à ce groupe en l'élargissant par la labellisation du RMT Sols et Territoires (<http://www.sols-et-territoires.org/>, consulté le 30/10/2014) en 2010 et en obtenant la reconduction du RMT en 2014 pour cinq ans (Guellier et al., à paraître).

Discussion des limites d'utilisations des RRP

Une des premières limites des RRP qui est régulièrement mise en avant, est sa résolution: « l'échelle du 1/250000 est inadaptée, elle n'est pas suffisante en terme de précision ». La réponse dépend de l'utilisation qui en est faite. Certes, les données ne sont pas utilisables pour des travaux à la parcelle mais par contre elles sont parfaitement adaptées pour un pilotage départemental, régional ou sur de grands bassins versants. Les RRP doivent être perçus comme une première étape dans la connaissance des sols sur un territoire. Une cartographie plus précise est toujours possible mais nécessitera un budget plus important (multiplié par 10, voire 15 pour du 1/50000), et s'appuiera sur les données déjà collectées dans le cadre du RRP. La difficulté à mobiliser des crédits pour terminer les RRP montre ses limites. Il est ainsi peu envisageable dans la période actuelle de relancer une cartographie systématique au 50 000^e sur toute la France. Ce postulat n'est toutefois pas vrai sur l'ensemble du territoire. Certains départements ont fait le choix de cette échelle de restitution, ce sont en particulier les départements du sud de la région Centre, de la Vienne et plus récemment du Loiret et de la Seine-et-Marne. Une autre option pourrait être de

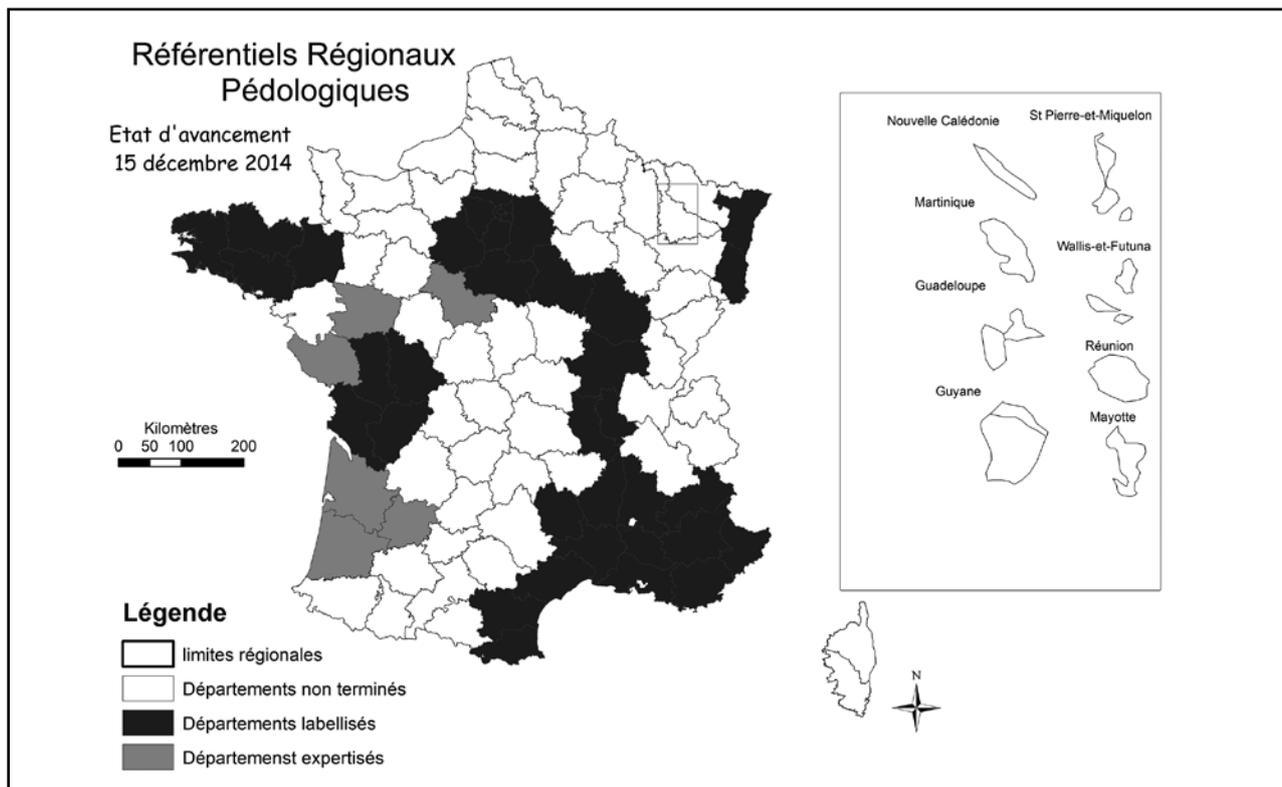
focaliser cette cartographie à grande échelle sur des zones restreintes mais à fort enjeu (environnemental, agronomique, aménagement du territoire...), qui nécessite d'aller plus finement dans la compréhension de l'organisation des sols. Il serait aussi plus facile de mobiliser ces crédits en mettant en avant le gain d'une cartographie précise sur ces secteurs. Ces derniers aspects rejoignent l'approche développée dans le volet « secteurs de références » (Favrot, 1989) du programme IGCS.

Les problèmes d'utilisation liés à la résolution des RRP doivent être analysés en fonction de l'ensemble des informations disponibles. Au 1/250000 une UCS contient le plus souvent plusieurs UTS dont la localisation au sein de l'UCS n'est pas connue. Mais la plupart des valorisations vont impliquer les données enregistrées au niveau des UTS et des strates, alors que la représentation cartographique du résultat ne peut se faire qu'au niveau des UCS. Une fois la thématique traitée au niveau de l'UTS (calcul du réservoir utile, indice de battance, etc.), il faut agréger l'information pour représenter une modalité unique par UCS. Trois approches sont possibles, elles sont présentées en *figure 7*.

La majorité des applications s'appuient sur les valeurs modales des variables, la variabilité des paramètres pédologiques est rarement prise en compte. Mais compte-tenu de la structure de DoneSol, il est possible de travailler sur la variabilité des informations contenues au niveau des UTS et des strates: i) les valeurs minimales de profondeur d'apparition des taches d'hydromorphie, ii) les valeurs secondaires ou mineures de l'abondance des taches, etc. Ces informations présentes dans la base de données pourraient être mobilisées pour aller plus finement dans la caractérisation du paramètre recherché ou dans l'identification de valeurs extrêmes au lieu de s'appuyer sur les données modales.

Chaque carte produite doit être accompagnée d'une information sur la qualité de l'information représentée soit par une carte de pureté (classe dominante) ou de l'écart type ou de l'intervalle de confiance (cas de la moyenne). Un exemple est présenté en *figure 8*, avec deux cartes : une carte principale illustrant la modalité représentée, comme par exemple la capacité de stockage en eau ou CSE (Laroche, 1996), et en médaillon, la carte de pureté de l'information, sous la forme d'un pourcentage de validité de l'information. Si une UCS présente une pureté de 75 %, cette valeur signifie que seuls 75 % des sols présentent cette modalité et que les 25 % sont dans une autre classe de CSE. Si le commanditaire souhaite une information plus précise il devra soit se référer à une carte existante plus précise, soit acquérir des observations supplémentaires par un retour sur le terrain.

De nouvelles opportunités s'offrent dans la valorisation des données des RRP dans le cadre du projet GlobalSoilMap (Hempel et al., 2013; Arrouays et al., 2014a et b) qui vise à cartographier des propriétés des sols à différentes profondeurs

Figure 6 - Avancée de l'attribution des niveaux de qualité.**Figure 6** - State of progress of regional mapping control.

au pas de 100 m, accompagnées d'une incertitude sur la valeur représentée. Cette forme de représentation sous forme de pixels et non plus sous forme de vecteur est une révolution dans la cartographie des sols. Traduite à partir des données brutes des RRP ou de toutes autres informations pédologiques disponibles sur un secteur, cette information « digérée » pourra être mise à disposition des utilisateurs des bases de données sol, ce travail est en cours sur quelques régions: Centre (Ciampalini *et al.* 2014a et 2014b), Languedoc-Roussillon (Vaysse *et al.*, 2014), Bretagne (Vincent, 2014,) ainsi qu'au niveau national (Lacoste *et al.* 2014).

CONCLUSION

Après plus de 25 ans d'historique, le programme Inventaire Gestion et Conservation des Sols a montré sa robustesse et a gagné en crédibilité par la production de données de qualité (procédures de vérifications, expertise...).

Au fil des années, le réseau « IGCS » s'agrandit et s'enrichit par l'implication d'acteurs de plus en plus nombreux et diversifiés. Le séminaire IGCS, les listes de diffusion, sont autant de moyens pour favoriser les échanges et les synergies

de ces acteurs autour de ce programme. L'aspect fédérateur de DoneSol, la généricité et l'accessibilité des méthodes, des outils (DoneSolWeb, ApplicaSol, WebSol, etc.) en sont des points forts. Ils sont aujourd'hui mis à disposition des contributeurs comme des utilisateurs des bases de données, et facilitent leur enrichissement et leur accès.

Le volet 1/250000, échelle prioritaire de ce programme en termes de financements, a connu un avancement significatif ces dernières années grâce notamment à la révision des zones défavorisées simples qui a permis de mobiliser des crédits supplémentaires. Il reste à mobiliser les derniers départements qui ne sont pas encore impliqués dans la démarche. Mais l'arbre ne doit pas cacher la forêt, de nombreux travaux se font à des échelles plus précises, les volets CPF et secteur de référence seront probablement redynamisés dans les années futures par des demandes de connaissances sur les sols de plus en plus fines.

La prise en compte sociétale du sol s'accroît et un défi majeur est de montrer toute la plus-value de l'apport d'une information pédologique précise et de qualité pour tous les enjeux territoriaux. Tous ces points ne peuvent être réalisés sans de nombreux efforts de communication auprès des services de l'état et des utilisateurs. Sur ce point, le RMT Sols et Territoires apparaît un relais important pour mieux

Figure 7 - Méthodes d'agrégation des données.

Figure 7 - Methods for data aggregation.

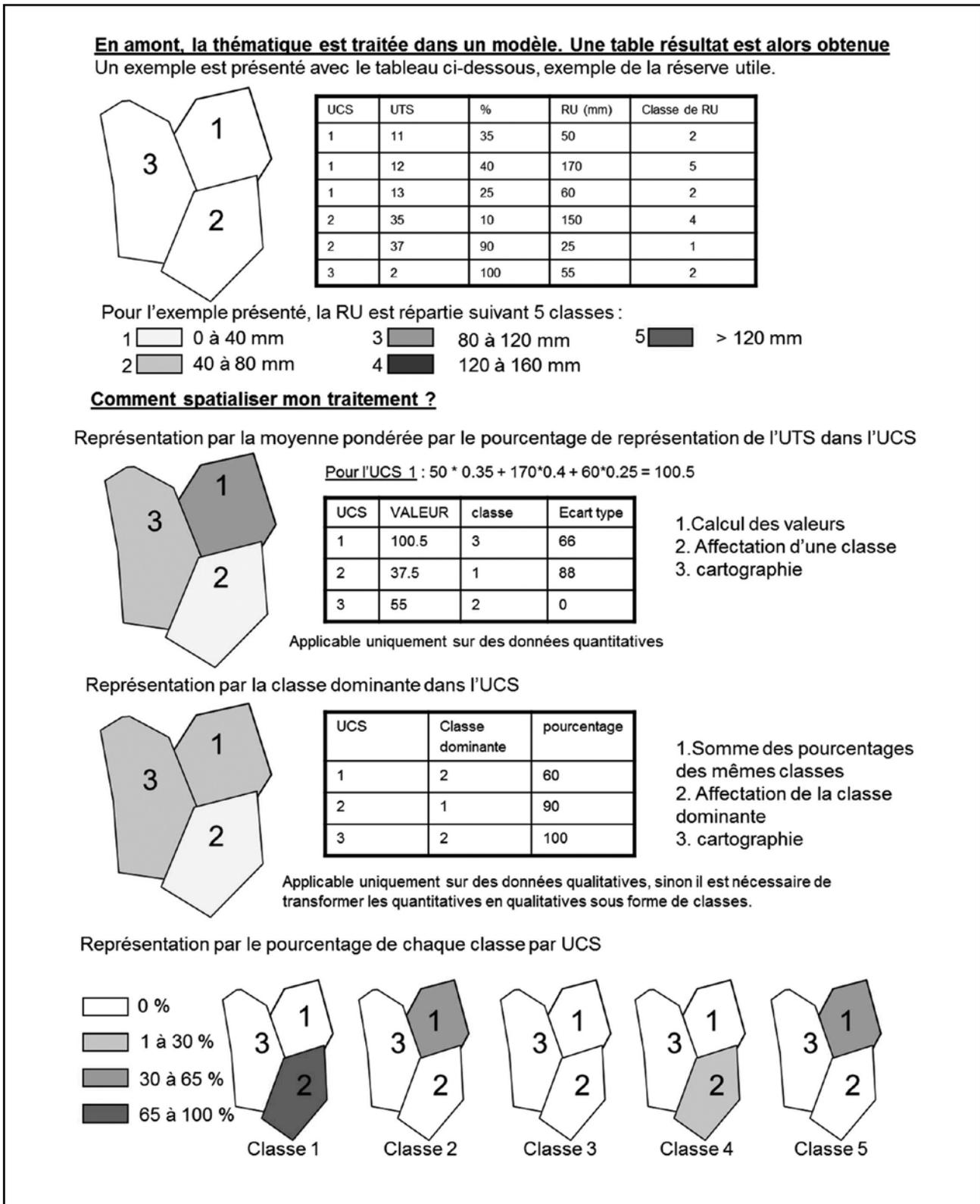
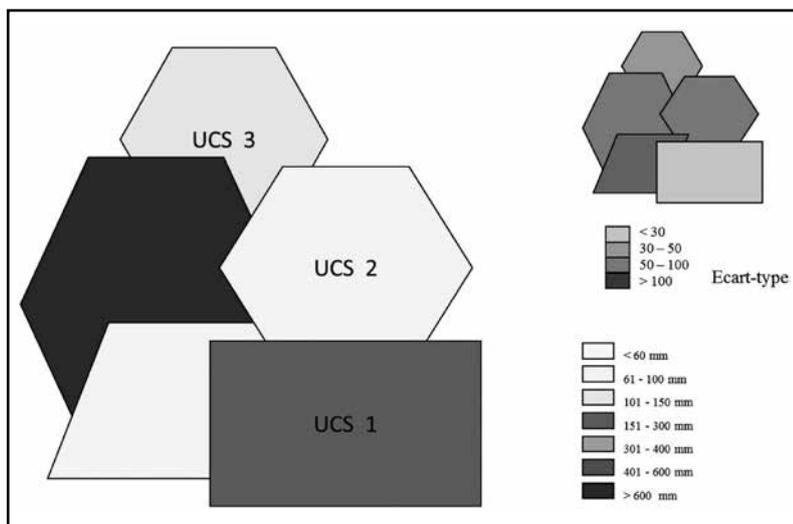


Figure 8 - Un exemple de carte thématique.**Figure 8** - Example of thematic map .

faire connaître les sols et leur utilisation. Le besoin de données traitées, d'outils, d'indicateurs, spatialisés des thématiques, de webservices pour communiquer apparaît alors évident. Outre les outils déjà mis en place ou en cours de développement, GlobalSoilMap pourrait être une première traduction, à partir des données connues, de paramètres pédologiques directement utilisables.

REMERCIEMENTS

Nous remercions toutes les personnes qui, depuis 25 ans, ont contribué de près ou de loin à ce programme, en particulier les partenaires régionaux, les financeurs et toutes les personnes non permanentes qui ont pour une période donnée contribué à développer ce programme dans les différentes régions.

BIBLIOGRAPHIE

- AFES, 2008 - Référentiel Pédologique, Association Française d'Etude des sols, 435 p.
- AFNOR, 2007 - Norme NF X31-560: Qualité des sols - Cartographie des sols appliquée à toutes les échelles - Acquisition et gestion informatique de données pédologiques en vue de leur utilisation en cartographie des sols.
- Arrouays D., Duval O. et Renaux B., 1989 - Esquisse des paysages pédologiques du Loiret, INRA-SESCPF, Chambre d'Agriculture du Loiret. Carte + notice (184 p.)
- Arrouays D., Hardy R., Schnebelen N., Le Bas C., Eimberck M., Roque J., Grolleau E., Pelletier A., Doux J., Lehmann S., Saby N., King D., Jamagne M., Rat D. et Stengel P., 2004 - Le programme Inventaire Gestion et Conservation des Sols de France. *Étude et Gestion des Sols*, 11(3), pp. 187-19.
- Arrouays D., Grundy M. G., Hartemink A. E., Hempel J. W., Heuvelink G.B.M., Hong S.Y., Lagacherie P., Lelyk, G., McBratney A. B., McKenzie, N. J. Mendonça-Santos M.D., Minasny B., Montanarella L., Odeh, I. O. A., Sanchez P. A., Thompson J. A. et Zhang G. L., 2014a - GlobalSoilMap: towards a fine-resolution global grid of soil properties. *Advances in Agronomy*, 125, pp. 93-134.
- Arrouays D, McKenzie NJ, Hempel J, Richer de Forges AC et McBratney AB. (eds), 2014b - GlobalSoilMap. Basis of the global spatial soil information system. CRC Press, Taylor&Francis, 478 p.
- Berthier L., Guzmova L., Laroche B., Lehmann S., Squitidant H., Martin M., Chenu J.P., Thiry E., Lemerrier B., Bardy M., Mérot P. et Walter C., 2014 - Spatial prediction of potential wetlands at the French national scale based on hydroecoregions stratification and inference modelling. EGU, European Geosciences Union, General Assembly 2014, 27/04-02/05/2014, Vienna, Austria.
- Bornand, M., Legros, J. P. et Rouzet, C., 1994 - Les Banques régionales données-sols. L'exemple du Languedoc Roussillon. *Étude et Gestion des Sols*, 1, pp. 67-82.
- Bornand M., 1997 - Connaissance et suivi de la qualité des sols en France. Etat des lieux, enjeux, besoin en données, proposition pour une gestion raisonnée de la ressource en sol. Rapport d'expertise du ministère de l'agriculture, du ministère de l'environnement et de l'Inra. Montpellier. 176 p.

- Ciampalini, R., Martin, M., Saby, N., Richer de Forges, A., Arrouays, D., Nehlig P. et Martelet G., 2014a - Soil texture GlobalSoilMap products for the French region « Centre ». *In*: Dominique Arrouays, Neil McKenzie, Jon Hempel, Anne Richer de Forges, Alex B. McBratney, dir., GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system (p. 121-126). London: CRC Press
- Ciampalini, R., Martin, M., Saby, N., Richer de Forges, A., Arrouays, D., Nehlig P. et Martelet G., 2014b -Modelling soil particle-size distribution in the region « Centre » (France). *In*: Dominique Arrouays, Neil McKenzie, Jon Hempel, Anne Richer de Forges, Alex B. McBratney, dir., GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system (pp. 325-331). London: CRC Press
- Favrot J.C., 1989 - Une stratégie d'inventaire cartographique à grande échelle: la méthode des secteurs de référence. *Science du sol*, 27 (4), pp. 351-368.
- Girof, G., Millet, F., Schnebelen, N., Bardy, M., Laroche, B., Ezzayani, F., Héliès, F., Guellier, C., 2014 - Applicasol, un outil de partage des applications thématiques à partir des données sol. *In*: 12. Journées d'Etude des Sols: Le sol en héritage. Presented at 12. Journées d'Etude des Sols (JES), Le Bourget du Lac, FRA (2014-06-30 - 2014-07-04).
- Grolleau, E. Bargeot, L. Chafchafi, A. Hardy R. Doux, J. Beaudou, A. Le Martret, H. Lacassin J.-C. Fort, J.-L. Falipou, P. et Arrouays, D., 2004 - Le système d'information national sur les données pédologiques spatialisées: DONESOL et les outils associés. *Etude et Gestion des Sols*, 11(3), pp. 255-269.
- Guellier, C., Bardy, M., Andrianarisoa, S., Balloy, B., BARGEOT, L., Chafchafi, A., Ducommun, C., Kockmann, F., Laroche, B., Lemerrier, B., Moulin, J., Sauter, J., Scheurer, O., Templereau, F., Schnebelen, N., Fort, J.L., 2014- Le Réseau Mixte Technologique Sols et Territoires: développer la connaissance des sols dans les territoires – Principes, bilan et perspectives. *Etude et Gestion des Sols*, 21, pp. 113-125
- Hempel, J.W., McBratney, A.B., McKenzie, N.J., Hartemink, A.E., McMillan, R., Lagacherie, P. et Arrouays D., 2013 - Vers une cartographie numérique des propriétés des sols du monde: Le programme GlobalSoilMap. *Etude et Gestion des Sols*, 20(1), pp. 7-14.
- INRA, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 1993 - Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS) Cahier des Charges de Déontologie. 11p.
- InfoSol, 2005 - Référentiel Régional Pédologique: Cahier des Clauses Techniques Général, 21 p.
- Inra – US 1106 InfoSol, 2013 - DoneSol version 3, Dictionnaire de données, version du 1^{er} novembre 2012. *Gis Sol*. 454 p.
- Lacoste, M., Martin, M., Saby, N., Paroissien, J.B., Lehmann, S., Richer de Forges, A. et Arrouays D., 2014 - *In*: Dominique Arrouays, Neil McKenzie, Jon Hempel, Anne Richer de Forges, Alex B. McBratney, dir., GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system (p. 121-126). London: CRC Press
- Lagacherie P., Arrouays D. et Walter C., 2013 - Cartographie numérique des sols: principe, mise en œuvre et potentialités. *Etude et Gestion des Sols*, 20 (1), pp. 83-98.
- Laroche, B., 1997- la capacité de stockage en eau des sols de Côte d'Or- rapport de stage. Université de Bourgogne, 56 p.
- Laroche, B. et Doux, J., 2007 - Vérifications de la qualité des Référentiels Régionaux Pédologiques: Etats des lieux et enseignements. *Etude et Gestion des Sols*, 14 (3), pp. 219-236.
- Laroche, B., Richer de Forges, A., Saby, N., Martelet, G., Tourlière, B., DeParis, J., Messner, F., Wetterlind, J., Moulin, J., Froger, D. et Arrouays, D. 2013 - Potentiel de la spectrométrie gamma aéroportée pour la cartographie des sols et du régolithe: une mini-revue et des premiers exemples en régions Centre et Limousin. *Etude et Gestion des Sols*, 20 (1), pp. 15-28.
- Laroche, B., Thiry, E., Schnebelen, N., Chenu J.-P., Moulin J., Bardy M., 2014 - Les bases de données sur les sols au service des politiques publiques: exemple des zones humides. *Etude et Gestion des Sols*, 21 (1), pp. 37-49.
- Le Bas C., Barthès S., Boutefoy I., Scheurer O., Darracq S., Lacassin J.C., Sauter J. et Schwartz C., 2004 - Utilisation des données sols d'I.G.C.S. en France: un état des lieux. *Etude et Gestion des Sols*, 11 (3), pp. 299-305.
- Le Bas C. et Schnebelen N., 2006 - Utilisation des données Sols d'IGCS en France: état des lieux en 2006, pp. 237-246.
- Lehmann S., Eimberck M., Martin M.P., Bardy M. et Arrouays D., 2013 - Cartographie numérique d'une carte pédologique au 1/50000 dans le Doubs, France. *Etude et Gestion des Sols*, 20 (1), pp. 27-46.
- Lemerrier B., Lacoste M., Loum M. et Walter C., 2012 - Extrapolation at regional scale of local soil knowledge using boosted classification trees: A two-step approach. *Geoderma* 171, pp. 75-84.
- MEDDE, GIS Sol, 2013 - Guide pour l'identification et la délimitation des sols de zones humides. Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, Groupement d'Intérêt Scientifique Sol, 63 p.
- Richer de Forges A., Chenu J.-P., Laroche B., Chapuis A. et Lehmann S., 2013 - Formation Utilisation de la base de données DoneSol. Communication présentée à Séminaire IGCS (Inventaire Gestion et Conservation des Sols), Rennes, France (11-13/12/2013).
- Richer de Forges A., Baffet M., Berger C., Coste S., Courbe C., Jalabert S., Lacassin J.-C., Maillant S., Michel F., Moulin J., Party J.-P., Renouard C., Sauter J., Scheurer O., Verbèq B., Desbourdes S., Héliès F., Lehmann S., Saby N., Tientcheu Nguenkam M.-E., Jarnagne M., Laroche B., Bardy M. et Voltz M., 2014 - La cartographie des sols à moyennes échelles en France métropolitaine. *Etude et Gestion des Sols*, 21, pp. 25-36.
- Vaysse K, Arrouays D., McKenzie N.J., Coste S., Lagacherie P., 2014 - Estimation of GlobalSoilMap.net grids cells from legacy soil data at the regional scale in southern France – *In*: Dominique Arrouays, Neil McKenzie, Jon Hempel, Anne Richer de Forges, Alex B. McBratney, dir., GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system (p. 121-126). London: CRC Press
- Vinatier, J.-M., Chafchafi, A., Barjeot, L., Toutain, B., Laroche, B., Arrouays, D. et Squidant, H., 2013 - Websol: une plateforme Internet de diffusion des données pédologiques. *Etude et Gestion des Sols*, 20 (3), pp.7-18.
- Vincent S., 2014 - Cartographie numérique des sols d'Ille-et-Vilaine - Désagrégation des unités cartographiques de sols. Mémoire de stage master 2 hydrogéologie - hydrobiogéochimie - Hydropédologie (Université de Rennes 1), 21 pages + annexes.