La cartographie des sols en France : Etat des lieux et perspectives

Marc Voltz, Blandine Lemercier, Joëlle Sauter, Anne C Richer-De-Forges, Philippe Lagacherie, Dominique Arrouays, Antonio Bispo, Marie-Françoise Slak, Bertrand Laroche

▶ **To cite this version:**

Marc Voltz, Blandine Lemercier, Joëlle Sauter, Anne C Richer-De-Forges, Philippe Lagacherie, et al.. La cartographie des sols en France : Etat des lieux et perspectives. [Rapport de recherche] GISSOL. 2018, 112 p. hal-02788992

HAL Id: hal-02788992
https://hal.inrae.fr/hal-02788992

Submitted on 26 Oct 2023

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.

La cartographie des sols en France : Etat des lieux et perspectives

Rapport relatif à la réalisation
de la convention MAA n°2101901551 et Inra n° 32000806

Juillet 2018

Coordination

Marc Voltz (INRA, UMR LISAH, Président CS IGCS)

Contributeurs

Dominique Arrouays (INRA, US Infosol)

Antonio Bispo (Inra, US Infosol, RMT Sols&Territoires)

Philippe Lagacherie (INRA, UMR LISAH, CS IGCS)

Bertrand Laroche (INRA, US Infosol)

Blandine Lemercier (AgroCampus Ouest, UMR SAS, RMT Sols&Territoires)

Anne Richer de Forges (INRA, US Infosol)

Joëlle Sauter (CRA Grand Est, CS IGCS, RMT Sols&Territoires)

Nathalie Schnebelen (INRA, département Environnement et Agronomie)

Contributions spécifiques sur la partie juridique

Christine Le Bas (INRA, US Infosol)

Nathalie Gandon (INRA, Unité Ingenum)

Stéphanie Rennes (INRA, Direction du Partenariat et du Transfert pour l'Innovation)

Remerciements

Nous remercions chaleureusement tous ceux qui ont répondu à l'enquête et aussi toutes les personnes qui ont accepté de nous faire part de leurs expertise et expériences et/ou ont contribué à la réalisation des différents travaux et séminaires menés au cours de cette étude. Pour ces dernières nous remercions en particulier P. Aigrain (FranceAgriMer), V. Antoni (MTES), M. Bardy (MAA), E. Eberhardt (BGR), J.L. Fort (CRA Nouvelle Aquitaine), J.P. Grelot (MAA), J. Michalski (Inra-Infosol), G. Touya (IGN), C. Walter (Agrocampus Ouest). Enfin, nous tenons à remercier particulièrement Marie-Françoise Slak du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation pour avoir soutenu l'idée de cette étude au sein du conseil scientifique IGCS et l'avoir accompagnée avec ses conseils avisés.

Pour citer ce document

Voltz, M., Arrouays, D., Bispo, A., Lagacherie, P., Laroche, B., Lemercier, B., Richer de Forges, A., Sauter, J., Schnebelen, N. 2018. La cartographie des sols en France : Etat des lieux et perspectives**.** INRA, France, 112 pages.

Table des matières

1 Introduction 6

1.1 Le contexte et les objectifs 6

1.2 La démarche suivie 7

1.3 Le plan du rapport 7

2 Etat actuel 9

2.1 Etat succinct des programmes de cartographie en France et au plan international 9

2.1.1 La cartographie des sols en France 9

2.1.2 La cartographie des sols au plan international 13

2.1.3 Conclusion 16

2.2 Cartographie des sols par modélisation statistique et cartographie conventionnelle 17

2.2.1 Principe général de la cartographie des sols par modélisation statistique 18

2.2.2 Similarités et évolutions par rapport à la cartographie pédologique conventionnelle 19

2.2.3 Conclusion 21

2.3 Les besoins et attentes des utilisateurs et producteurs de données sol 22

2.3.1 Thématiques d'application des cartes pédologiques 22

2.3.2 Les milieux et enjeux insuffisamment abordés 24

2.4 Le cadre juridique de la diffusion et de l'utilisation des données sol 26

2.4.1 Périmètre des travaux 26

2.4.2 Une diversité de situations d'acquisition des données 27

2.4.3 D'où une diversité et une complexité des régimes juridiques 28

2.4.4 Conclusion 29

2.5 Conclusion 30

3 Les scénarios techniques 31

3.1 Caractérisation des profils de sol 31

3.1.1 Profondeurs d'observation et de prélèvement 31

3.1.2 Les variables prioritaires à acquérir 32

3.1.3 Les variables complémentaires à acquérir 32

3.2 Modalités d'échantillonnage et de prospection spatiaux 33

3.2.1 Densification des profils de sol 34

3.2.2 Mise en place de secteurs de référence dans les zones les moins bien connues 36

3.2.3 Faciliter la remontée d'informations issues d'acteurs professionnels 37

3.3 Modalités de méthode cartographique 38

3.3.1 Formalisation d'une expertise issue d'une carte des sols conventionnelle 39

3.3.2 Les approches pédo-statistiques 39
3.3.3 Extrapolation de secteurs de référence 39
3.4 L'évaluation des coûts 40
3.4.1 Réalisation et analyse d'un profil 40
3.4.2 Densification spatiale des données 40
3.4.3 Mise en place de secteurs de référence 40
3.4.4 Soutien aux cartographies d'échelle égale ou supérieure au 1/50000 et à la capitalisation des données 41
3.5 Les scénarios techniques retenus 41
4 Les scénarios organisationnels 43
4.1 La démarche d'élaboration des scénarios 43
4.2 La question à l'origine de la scénarisation 43
4.3 La représentation du système de cartographie des sols en France 44
4.4 Les hypothèses relatives aux composantes du système 46
4.5 Les quatre scénarios choisis 50
4.5.1 Principes d'élaboration 50
4.5.2 Scénario SO1 dit « Neutre » 51
4.5.3 Scénario SO2 dit « Tous pour le sol et le sol pour tous » 54
4.5.4 Scénario SO3 dit « Chacun son sol » 57
4.5.5 Scénario SO4 dit « Chacun son sol avec régulation publique » 60
5 L'évaluation des scénarios 63
5.1 Estimation des coûts des scénarios 63
5.2 L'analyse des modèles économiques des scénarios 65
5.2.1 La démarche d'accès au marché 65
5.2.2 La nouveauté – valider la preuve de la légitimité 66
5.2.3 Les usages – valider la preuve de la désirabilité 67
5.2.4 L'écosystème – valider la preuve de l'acceptabilité 69
5.2.5 L'offre – valider la preuve de la faisabilité 70
5.2.6 Le modèle économique – valider la preuve de la viabilité 72
5.2.7 Modèle économique selon les différents scénarios 75
5.3 Synthèse : l'évaluation multi-critère des scénarios 75
6 Synthèse et recommandations 79
6.1 Amplifier l'acquisition et la capitalisation des données sol 79
6.1.1 Financer un système d'information national sur les sols de France à une précision moyenne mais homogène et connue 79
6.1.2 Accompagner l'effort de cartographie pédologique aux échelles locales et la capitalisation des données 80

6.2 Approfondir l'organisation des acteurs et activités de cartographie des sols en France 80

6.2.1 Favoriser une organisation nationale des producteurs de données et de cartographies 80

6.2.2 Légitimer une instance nationale de régulation 81

6.2.3 Créer un centre de ressources national 81

6.3 Améliorer la visibilité et les conditions de diffusion des données sol 81

6.4 Aider au développement d'un marché de produits services 82

6.5 Eclaircir la question juridique 82

6.6 Soutenir la R&D en cartographie des sols sur les thèmes prioritaires suivants : 82

6.7 Développer la coopération avec les autres acteurs européens et internationaux 83

7 Liste des abréviations 84

8 Liste des annexes 85

Annexe 1: Rappel des conclusions de l'enquête auprès des producteurs et utilisateurs de données sol 86

Annexe 2: CR séminaire juin 2017 88

Annexe 3: Estimation du coût de réalisation et d'analyse de profils pédologiques 103

Annexe 4: Analyse détaillée du cadre juridique des données IGCS et RMQS de la base Donesol 106

1 Introduction

1.1 Le contexte et les objectifs

Depuis le début des années 90, la stratégie nationale de cartographie des sols, impulsée par le ministère en charge de l'agriculture et l'INRA et reprise ensuite par le GIS SOL, a privilégié la couverture exhaustive du territoire par des Référentiels Régionaux Pédologiques (RRP), basés sur des cartographies conventionnelles [1] des sols au 1/250 000 commanditées par les maîtres d'ouvrages régionaux. Les informations issues de ces RRP sont progressivement rendues accessibles aux utilisateurs, grâce à un système de stockage de l'information pédologique standardisée à l'échelle nationale (DONESOL) et des interfaces utilisateurs accessibles sur le web.

L'achèvement prochain des RRP, bien qu'étant une étape très importante et le résultat d'un effort soutenu d'un ensemble d'acteurs régionaux et nationaux, ne doit pas faire perdre de vue que les besoins en connaissance des sols vont au-delà des acquis actuels pour de nombreuses applications. Ainsi la résolution spatiale des RRP est souvent trop faible par rapport aux utilisations de données envisagées. C'est aussi le cas en ce qui concerne le passage de la connaissance typologique des sols à la connaissance de leurs propriétés fonctionnelles, passage qui reste un enjeu cognitif et appliqué essentiel. Enfin, au-delà des propriétés de sol classiquement prises en compte par les pédologues cartographes, un besoin de caractérisation et de cartographie de nouvelles propriétés, notamment biologiques, est exprimé par des utilisateurs engagés dans de nouveaux enjeux environnementaux.

Face à ces besoins en connaissance des sols, toujours importants et renouvelés, force est de constater que les méthodes de cartographie des sols ont connu de leur côté une forte évolution ces dernières années avec l'émergence des approches de cartographies des sols à base de modélisation statistique (CSMS)[2]. Les essais récents de CSMS montrent bien le potentiel de ces approches pour aider à la cartographie des propriétés des sols, voire pour améliorer la précision des cartes de sol typologiques. La CSMS contribue ainsi de manière importante à l'enrichissement des techniques de cartographie pédologique en usage. Au plan international, leur développement sur la décennie écoulée a débouché sur le programme international *GlobalSoilMap*[3], qui vise à produire une base de données digitale harmonisée et mondiale de plusieurs propriétés des sols à des profondeurs fixes (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 et 100-200 cm). Son principe de diffusion est un accès libre et gratuit aux produits raster tandis que les données source (profils, cartes) restent gérées par leur propriétaire initial. Notons que l'objectif de *GlobalSoilMap* est repris dans d'autres initiatives internationales comme celles issues du partenariat mondial sur les sols ONU-FAO.

Ces fortes évolutions, à la fois de l'offre et de la demande en données sol, font que le Conseil scientifique d'IGCS et les membres du RMT « Sols et Territoires » ont considéré qu'il était important de redéfinir une stratégie et de nouveaux cahiers des charges en matière de cartographie des sols au plan français afin de développer et diffuser au mieux dans la société la connaissance spatialisée des sols. Cet objectif a été validé en janvier 2016 par le Haut Comité de Groupement (HCG) du GIS Sol, qui a recommandé que tout scénario d'évolution s'articule avec les projets en cours aux plans européen et international et en particulier avec la contribution Française au programme *GlobalSoilMap* et que soient effectuées une estimation des coûts

[1] Par cartographie conventionnelle on entend la délimitation et la caractérisation d'unités de sols homogènes ou d'unités pédopaysagères opérées selon l'expertise d'un pédologue cartographe suite à des prospections de terrain et des observations sur sondages à la tarière et sur fosses pédologiques.

[2] Les approches CSMS sont aussi fréquemment appelées cartographies numériques des sols, termes que nous considérons inadéquats car les cartographies conventionnelles des sols s'expriment également à présent sous forme numérique.

[3] www.globalsoilmap.net/

financiers et des propositions de modèles économiques et juridiques en tenant compte des besoins des acteurs et utilisateurs de l'information spatiale pédologique sur le territoire Français.

1.2 La démarche suivie

Le présent rapport répond à l'objectif mentionné ci-dessus. Il est le fruit du travail d'un comité d'experts, issus du Conseil scientifique du programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS) porté par le Groupement d'intérêt Scientifique sur le Sol (Gis Sol), du Réseau Mixte Technologique (RMT) Sols et Territoires et de l'unité de service INFOSO de l'INRAL. Il a bénéficié du soutien financier du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et de l'INRA. Afin d'aboutir aux analyses et réflexions prospectives qui suivent, le comité d'experts a souhaité faire un bilan initial des besoins des producteurs et utilisateurs des données sol, de l'état de développement et d'organisation des programmes de cartographie et réaliser une analyse prospective des scénarios d'évolution. A cet effet, quatre actions ont été menées et/ou coordonnées par le comité.

- ***La rédaction d'une note de synthèse sur la cartographie des sols à base de modélisation statistique*** afin de décrire le contexte dans lequel s'inscrit cette démarche, ses potentialités et l'enjeu de son développement dans le cadre des méthodes de cartographie des sols.
- ***Une enquête réalisée par questionnaire sur Internet*** avec la volonté de couvrir la plus grande diversité possible de personnes produisant ou utilisant des données sur les sols. Deux questionnaires visant de manière différenciée producteurs et utilisateurs ont été adressés au total à *873 personnes appartenant à 676 organismes différents*, incluant bureaux d'études, associations, chambres d'agriculture, acteurs forestiers, collectivités territoriales, services déconcentrés de l'Etat, établissements d'enseignement secondaire et supérieur, instituts techniques, organismes de recherche, professionnels, publics ou privés. Le questionnaire dit « Producteurs » a récolté 52 réponses et le questionnaire dit « Utilisateurs » 219 réponses. La synthèse des résultats de l'enquête est données en annexe de ce document. Les points principaux ont été repris dans le rapport pour expliciter l'état actuel de la cartographie des sols ou pour argumenter certaines options des scénarios d'évolution. Les conclusions majeures de l'enquête sont données en Annexe 1.
- ***Un atelier participatif,*** tenu le 12 juin 2017 à Paris, dont les objectifs ont été i) de présenter et discuter les résultats de l'enquête réalisée et ii) de débattre des besoins futurs en connaissances des données sol, des besoins d'accompagnement pour le développement de la CSMS, des modèles économiques et de la gouvernance envisageables pour les programmes de cartographie. L'événement a rassemblé une quarantaine de participants concernés par la connaissance des sols et issus des secteurs privés, publics et académiques. Le compte-rendu de l'atelier est joint en Annexe 2.
- ***Deux séminaires réflexifs du comité,*** tenus à Paris les 13-14 novembre 2017 et 6-7 février 2018, qui ont visé l'élaboration du rapport final mais aussi des points spécifiques comme les modalités juridiques et économiques du développement de la cartographie des sols et la création de scénarios prospectifs.

1.3 Le plan du rapport

Le rapport présente successivement :

- ***Une analyse de l'état actuel des programmes de cartographie des sols***, des besoins exprimés par des producteurs et utilisateurs des données sols et des questionnements juridiques et économiques relatifs à la production, diffusion et utilisation des cartographies. Cette section s'appuie essentiellement sur la note de synthèse sur la CSMS, sur les résultats

de l'enquête auprès des producteurs et utilisateurs et sur les modalités d'organisation en cours des programmes de cartographie.

- ***Des propositions de scénarios d'évolution aux plans technique et organisationnel*** qui décrivent plusieurs possibilités de cahier des charges pour le développement de la cartographie des sols en France. Les scénarios techniques font l'objet d'une évaluation de coût et les scénarios organisationnels sont évalués au regard d'indicateurs de succès vis à vis de la production et de la diffusion de la connaissance des sols.
- ***Des recommandations d'actions*** pour soutenir le développement de la connaissance cartographique des sols selon les scénarios envisagés.

2 Etat actuel

2.1 Etat succinct des programmes de cartographie en France et au plan international

2.1.1 La cartographie des sols en France

2.1.1.1 Historique

Les années 60 sont caractérisées par la mise en œuvre de cartographies dites conventionnelles, souvent peu harmonisées. Vers la fin des années 60, on voit apparaître les premiers manuels structurés, comme par exemple l'ouvrage « Bases et techniques d'une cartographie des sols » (Jamagne, 1968) et le travail collectif de la commission de pédologie et de classification des sols, connu sous l'acronyme CPCS (CPCS, 1967).

En France, le premier programme national de cartographie des sols a été mis en place en 1968 sous l'impulsion de la CPCS et de Marcel Jamagne. Il visait à réaliser la carte pédologique de France (CPF) à 1/100 000. Les publications étaient programmées par feuilles IGN à 1/100 000 (environ 220 000 ha). Le découpage et les légendes étaient à l'origine définis sur la base des processus pédogénétiques et de la classification des sols (CPCS, 1967). Une hypothèse implicite était qu'un découpage fondé sur ces critères serait suffisamment générique pour intégrer la variabilité de l'ensemble des propriétés nécessaires pour des applications.

Pour autant, les évolutions de la cartographie des sols et de leurs propriétés ont rarement été guidées par le souci de l'étude de la pédogenèse. Elles sont principalement liées aux émergences parallèles de nouveaux enjeux et de nouvelles techniques.

En ce qui concerne les enjeux, les années 60 et 70 sont caractérisées par la volonté d'augmenter la production agricole. L'objectif est résolument productiviste, il s'agit de développer l'espace agricole et de viser des rendements maximaux ; c'est l'époque du développement des grandes compagnies d'aménagement du territoire. Il y a de l'espace à conquérir et à aménager. C'est pourquoi, en parallèle du programme CPF - ou en concertation avec lui - des cartographies à vocation agronomique appliquée se développent, souvent à des échelles allant du 1/20 000 au 1/50 000. Les années 70 et 80 sont ensuite caractérisées par le développement des remembrements et du drainage, tous deux fortement liés à la mécanisation. De nouveaux programmes, comme les Secteurs de Référence, sont alors mis en place. Il s'agit de cartographier et de caractériser les sols de secteurs représentatifs d'une petite région naturelle, et de fournir des conseils techniques permettant le rattachement de sols à ces références (Favrot, 1989).

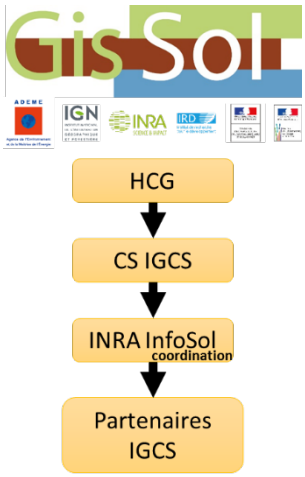
Au début des années 1980, l'espace devient contraint sous l'effet de l'urbanisation et du développement des infrastructures et de nouveaux enjeux apparaissent : il s'agit de gérer cet espace, et de préserver certains sols. C'est l'apparition du programme des cartes des terres agricoles (CDTA, 1980-1988) qui vise à caractériser les terres (notons que le mot « terre » est employé au lieu du mot « sol ») et à les cartographier selon des critères à la fois biophysiques et économiques. L'objectif est clairement de préserver les sols à forte valeur agricole. Le programme, qui visait une couverture rapide de la France à 1/50 000, se révèle rapidement être un échec. L'avancement ne respecte pas les objectifs, et surtout, les cartes produites sont de qualités très inégales, et de conceptions parfois très différentes, du fait d'un cahier des charges insuffisamment précis et de l'absence de référents scientifiques dans le comité de pilotage de l'opération. Les programmes de cartographie pédologique à 1/100 000 (CPF) se poursuivent néanmoins et l'informatisation des données ponctuelles dans des bases relationnelles se développe, principalement dans les structures de recherche (Bertrand et al., 1979).

A la fin des années 1980, force est de remettre l'ensemble des programmes à plat. L'avancée du programme CPF est trop lente (on estime alors que si son rythme se maintient, il faudra 150 ans pour le terminer), les CDTA sont un échec, et il n'y a aucune carte d'aide à la planification à l'échelle

régionale. Ce constat aboutit à la création du programme IGCS, qui a survécu jusqu'à maintenant et dont l'objectif initial était de réaliser des cartographies des pédo-paysages à 1/250 000, de continuer et de diversifier les opérations de type Secteurs de Référence, et de capitaliser toutes les informations en bases de données géographiques. Pour ce dernier point, c'est une avancée technologique majeure - l'apparition des SIG - qui est décisive. Ceci se concrétise, au début des années 1990 (Gaultier et al., 1993), par la conception de la première base de données géographiques générique française (DoneSol). Pour autant, des cartographies à moyennes échelles (1/50 000 à 1/100 000) se poursuivent, voire prennent de l'ampleur dans certaines régions pilotes (comme la région Centre).

Vers la fin des années 1990, la coordination nationale des programmes de cartographie des sols connaît une crise majeure. Elle est atteinte d'une vague considérable de départs en retraite et de réductions budgétaires. Le rapport Bornand (1997) pointe en particulier un gaspillage des fonds publics lié au fait que la plupart des études réalisées ne sont pas sauvegardées ni mises en bases de données. Conjointement, les préoccupations environnementales prennent une ampleur sans précédent avec la problématique de la gestion de la qualité des eaux et les conventions de Rio qui donnent un aspect plus global à la problématique de la gestion des sols : pollution, changement climatique, biodiversité, érosion, désertification. Le besoin de surveillance de la qualité des sols émerge. Toutes ces évolutions conduisent l'INRA, les ministères en charge de l'agriculture et de l'environnement, l'Ademe, et l'Ifen à réfléchir à une nouvelle gouvernance et à une restructuration des programmes de cartographie et de surveillance des sols : c'est la naissance du Gis Sol et de l'Unité InfoSol.

2.1.1.2 *Gouvernance actuelle*



Créé en 2001, le GIS Sol (www.gissol.fr) a restructuré le programme IGCS (Inventaire, Gestion et Conservation des Sols). Celui-ci se décline actuellement en 3 volets : un volet à 1/250 000 (Référentiel Régional Pédologique ou RRP), un volet à moyennes échelles (1/50 000 à 1/100 000 renommé Connaissance Pédologique de la France ou CPF) et un volet à des échelles très précises (1/10 000 à 1/5 000 dit Secteur de Référence ou SR).

Le haut comité de groupement (HCG) décide des programmes à mettre en place et de leurs financements. Il statue également sur les programmes de surveillance comme le Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (RMQS) ou la Base de Données d'Analyses de Terres (BDAT).

Le Gis Sol est évalué tous les 5 ans. Il établit un programme prévisionnel pluri-annuel, qui n'a toutefois pas de caractère contractuel, dans la mesure où les budgets sont ensuite décidés annuellement.

Un Conseil Scientifique spécifique à la cartographie des sols (CS IGCS) donne son avis sur les programmes de cartographie des sols et sur l'attribution d'un label de qualité aux réalisations.

L'unité InfoSol de l'INRA, créée en 2000, est en charge de la coordination de l'ensemble des programmes de cartographie en France.

La réalisation de la cartographie des sols est effectuée par un ensemble de partenaires appartenant à divers types d'organismes (organismes publics, organismes privés, collectivités territoriales, grandes écoles…), distribués sur l'ensemble des régions.

2.1.1.3 *Etat d'avancement et évolutions technologiques*

Environ 24 % du territoire, soit environ 13 millions d'hectares, est actuellement couvert par une cartographie des sols au 1/100 000 et environ 18 % au 1/50 000, soit plus de 9 millions d'hectares (Richer-de-Forges et al., 2014).

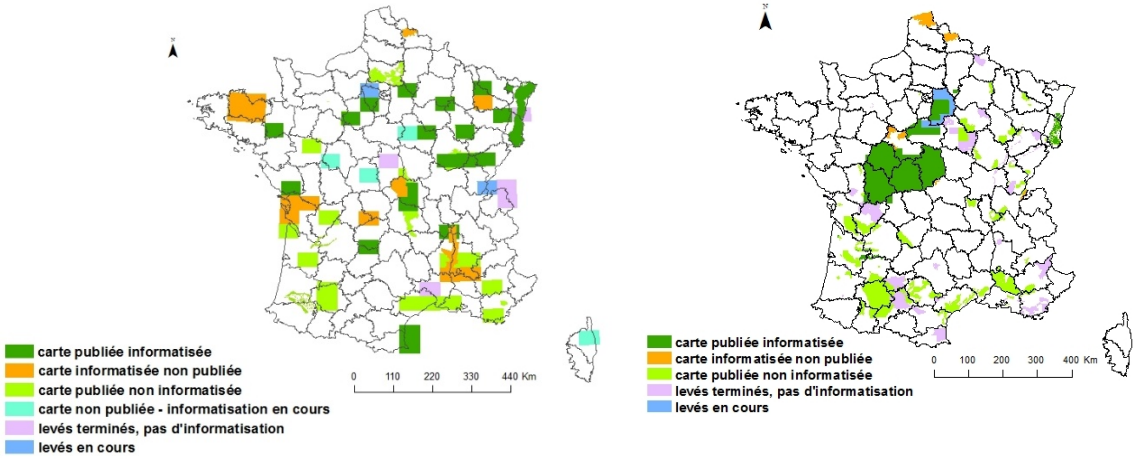


Figure 1 : Cartes d'état d'avancement de la cartographie des sols en France au 1/100 000 (à gauche) et au 1/50 000 (à droite) fin 2014.

La cartographie des sols au 1/250 000 est en voie d'achèvement sur le territoire métropolitain.

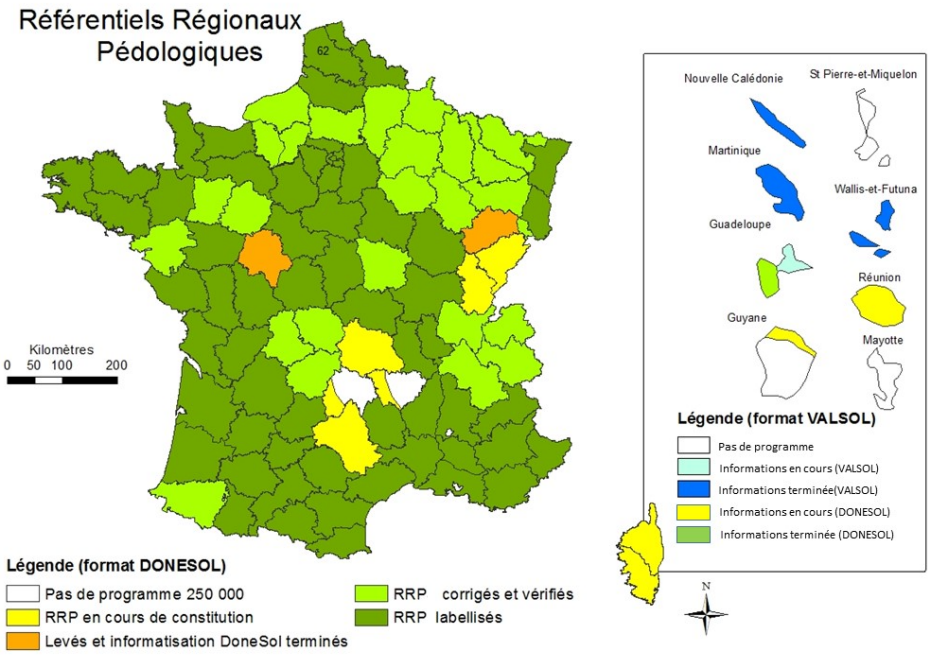


Figure 2 : Cartes d'état d'avancement de la cartographie des sols en France au 1/250 000 (mai 2018)

Les données (ponctuelles et surfaciques) sont stockées dans une base de données nationale unique appelée DoneSol. Cette base regroupe actuellement environ 70 000 profils de sols et 97 000 observations de sondages. La densité de répartition de ces points demeure assez hétérogène sur le territoire (Figure 3).

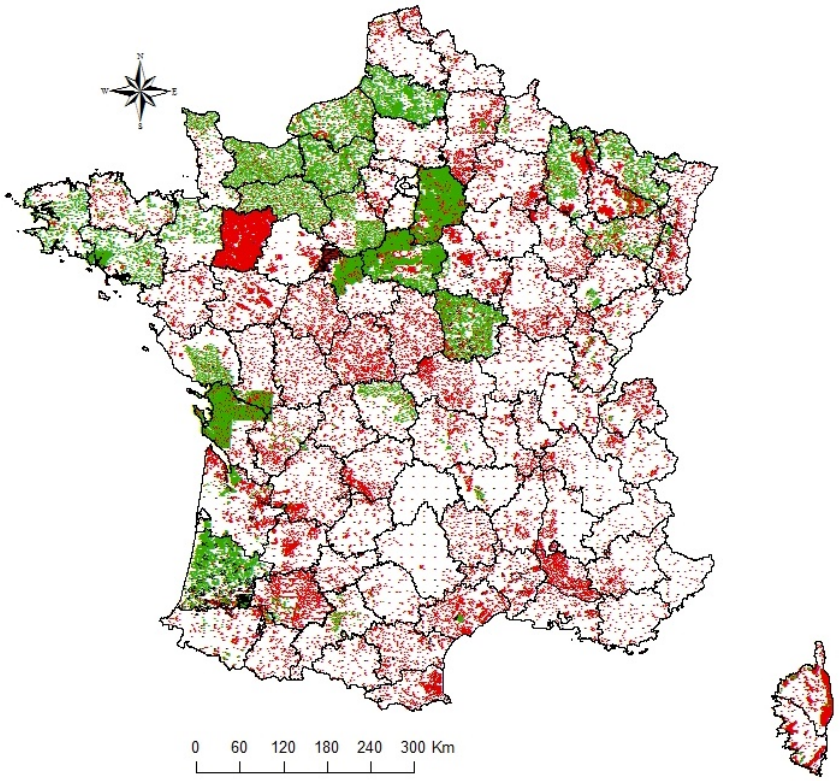


Figure 3 : Carte de répartition des données ponctuelles présentes dans DoneSol début 2018 (en rouge les fosses et en vert les sondages).

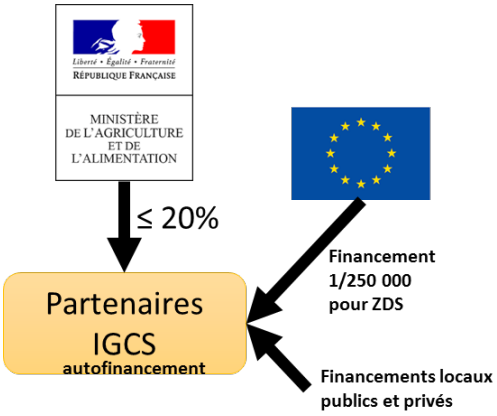
Depuis les années 1990, les données numériques environnementales et spatiales disponibles se sont multipliées de façon exponentielle : modèles numériques de terrain, données satellitales, données de cartes numérisées (végétation, géologie, etc.) ; la puissance de calcul de nos ordinateurs a augmenté d'une façon incroyable. Ces évolutions, et l'augmentation des données 'sol' stockées de façon numérique, ont conduit à l'apparition et au **développement de la cartographie des sols par modélisation statistique (CSMS)**. Cette évolution a conduit à un passage progressif d'un modèle de connaissance tacite du pédologue expert de terrain à des modèles formalisés et quantifiés. Bien qu'elle soit encore essentiellement portée par la recherche, la CSMS a toutefois déjà permis des avancées au plan de la cartographie dite « conventionnelle » : aide à la cartographie à 1/250 000 (par exemple dans l'Aube, la Marne, l'Aisne), révision de cartes anciennes (Somme, Seine-Maritime), aide à l'harmonisation nationale…

Depuis le début des années 2010, les travaux de CSMS à vocation opérationnelle se multiplient. Il peut s'agir de prédire des propriétés des sols et leurs incertitudes sur la France métropolitaine (Mulder et al., 2016) ou sur certaines régions (Vaysse et Lagacherie, 2017, Roman Dobarco et al., 2017), de désagréger des cartes à petite échelle pour mieux prédire l'occurrence de types de sol (Vincent et al., 2018), ou encore de prédire des horizons diagnostiques de certains fonctionnements (Richer-de-Forges et al., 2017).

2.1.1.4 Financements

La plupart des montages financiers incluent une aide de l'état (en règle générale en provenance du Ministère en charge de l'Agriculture) mais qui est très largement abondée par des financements d'origine diverse (Régions, Départements, Services déconcentrés de l'Etat, Agences de l'Eau, Chambres d'Agricultures, Sociétés d'Aménagement, Europe…).

Chaque carte des sols présente ainsi un montage financier particulier.



Le Ministère en charge de l'Agriculture participe au financement de la cartographie des sols à la hauteur maximale de 20 % du budget jusqu'en 2009, puis cette part a été variable en fonction des régions, allant parfois à 100 % du projet. Pour les cartes de sols à 1/250 000, les montants attribués sont proposés par le CS IGCS puis arbitrés et attribués par le ministère. Pour la cartographie des sols aux échelles moyennes, certains crédits proviennent du ministère en charge de l'agriculture, versés à l'INRA au titre de ses missions complémentaires. L'INRA redistribue ensuite la plupart de ces crédits à des partenaires locaux. Il peut également en consacrer une partie à des opérations de 'sauvetage' des données, comme par exemple pour mettre en bases de données des profils de sols contenus dans des études déjà publiées. Les partenaires en charge de la cartographie apportent le plus souvent une part d'autofinancement.

La révision des zones éligibles aux ZDS (Zones Défavorisées Simples) a sensiblement accéléré l'avancée des programmes de cartographie à 1/250 000 par la mobilisation de crédits supplémentaires Feader pour sa réalisation.

2.1.2 La cartographie des sols au plan international

L'état d'avancement de la cartographie des sols et de la constitution de bases de données se caractérise par une très grande hétérogénéité entre pays (voir Figure 4). Certains pays disposent d'une couverture cartographique exhaustive et relativement détaillée (p. ex. Pays-Bas, Belgique, Hongrie, USA, Corée du Sud, Danemark, Thaïlande, Taïwan), d'autres disposent de cartographies exhaustives ou quasi exhaustives à des échelles de l'ordre du 1/250 000 (p. ex. Allemagne, la plupart des pays d'Europe centrale, Royaume Uni, Irlande, Italie, Suisse, Australie, Nouvelle Zélande, Japon, Equateur, France, Canada (Sud), Inde, Mexique…). Certains pays ont développé des produits numériques à haute résolution spatiale mais de précision variable (p. ex. Australie, USA, Danemark, Corée, Mexique, France…). La gouvernance de ces programmes est également très hétérogène, certains pays la déléguant à leurs « régions » ou « états » (i.e., Allemagne, Italie, Espagne, Australie, Inde) tandis que d'autres ont une approche plus centralisée (i.e., Thaïlande, Japon, Nouvelle Zélande, Corée…).

L'état des bases de données est également très disparate entre les pays, certains ayant consenti des efforts très importants de capitalisation (Australie, USA, Inde, France, Hongrie…), tandis que d'autres semblent avoir perdu (ou n'avoir pas encore capitalisé) une grande partie de leurs acquis historiques (par exemple la Russie).

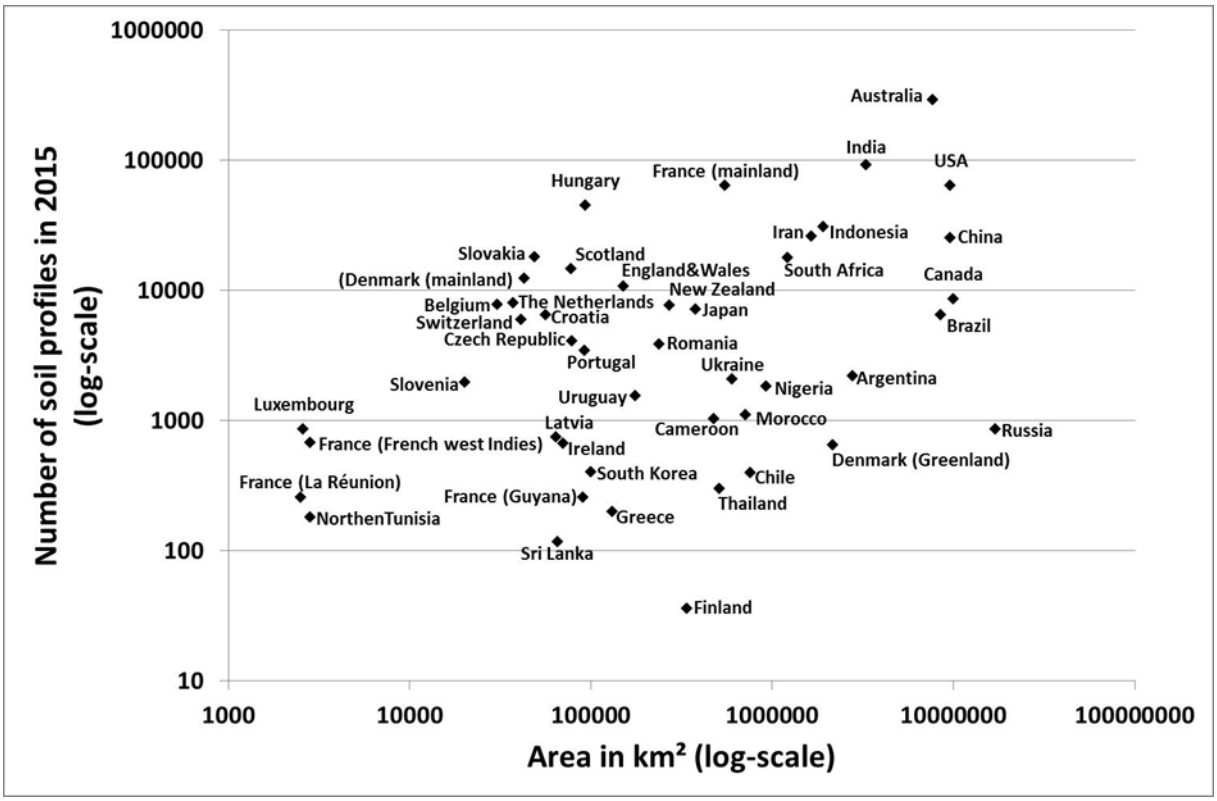


Figure 4 : Nombre de profils harmonisés et présents dans les bases de données nationales (fin 2015) en échelle log-log. D'après Arrouays et al., 2017.

2.1.2.1 La Base de Données Géographique des Sols d'Europe (BDGSE) et de France (BDGSF)

La Base de Données Géographique des Sols de France au 1/1 000 000 est l'une des composantes de la Base de Données Géographique des Sols d'Europe (BDGSE) au 1/1 000 000. Les travaux d'harmonisation sur l'Europe ont débuté en 1974. La première version de la BDGSE date de 1986 (numérisation de la carte papier de 1985). La 2e version de 1992 (incorporation des données issues d'archives), la 3e version de 1998 (extension vers l'Europe centrale) et la 4e version de 2008 (extension vers l'Eurasie et le pourtour méditerranéen).

La méthode utilisée ici est fondée sur l'expertise ; elle est qualifiée de « descendante[4] ». Sur la base de connaissances et de cartes traditionnelles pré-existantes, des experts délimitent des ensembles physiographiques et en harmonisent les découpages. Ils renseignent ensuite le contenu de ces ensembles par des « unités typologiques de sols », elles-mêmes caractérisées par un certain nombre de propriétés auxquelles on peut rattacher des profils « typiques ». Cette base de données est très utilisée à l'échelle européenne et on peut dire qu'elle a servi de « vitrine » ou de produit d'appel pour développer de très nombreux programmes européens. Sa résolution spatiale est toutefois fortement limitante quant à ses utilisations possibles.

2.1.2.2 Le programme SOTER et son évolution e-SOTER

Le programme SOTER part d'un même principe descendant. Il visait à l'origine à couvrir le monde à des échelles allant du 1/5 000 000 au 1/2 500 000. Le principe est de délimiter des unités

[4] Une méthode de cartographie « descendante » repose sur une délimitation préalable d'ensemble physiographiques qui sont ensuite caractérisés par leur contenu. Inversement une méthode dite « ascendante » part des observations ponctuelles pour réaliser des regroupements ou des interpolations.

physiographiques, puis de les informer en matière de données sol. Sa déclinaison numérique, e-SoTER, fait appel à des techniques numériques pour réaliser des regroupements d'unités physiographiques, puis à une combinaison de ces unités avec des bases de données préexistantes (comme la BDGSE) et à un « peuplement » de la base résultante avec des profils réels ou des profils synthétiques « fictifs ». Ce programme présente des avantages indéniables en termes de rapidité de production et d'harmonisation des couches géographiques. En revanche, il est très lourd en termes de « peuplement » de la base sémantique et requiert une expertise locale très poussée. Il est de plus très limité en termes de résolution spatiale. Malgré la mise en œuvre de programmes de recherches européens (i.e., e-SoTER), la base de données SOTER ne couvre pas encore toute l'Europe et, en particulier, ne couvre pas la France.

2.1.2.3 LUCAS-Soil

LUCAS-Soil est conçu comme un outil d'inventaire et de surveillance des sols d'Europe. Il se fonde sur l'acquisition de données sur les sols (principalement les horizons de surface) sur un sous-échantillon de l'échantillonnage LUCAS destiné à suivre l'évolution des occupations des sols. Il peut être classé dans la catégorie « ascendante ». Les données sont acquises en des points précis, puis utilisées en lien avec des co-variables environnementales pour produire des cartes à l'aide de technologies de CNS. Malgré l'avantage indéniable d'une couverture assez homogène de l'Europe, LUCAS-Soil souffre de plusieurs inconvénients : la faible qualification des préleveurs, le faible contrôle qualité des opérations de terrain, une représentativité parfois discutable (par exemple : une sur-représentation des sols cultivés de plaine, une sous-représentation des zones de montagne), l'utilisation de modèles en dehors de leur domaine de validité. LUCAS-Soil a ainsi montré des biais systématiques lorsqu'il a été confronté à des données nationales (par exemple, en France les stocks de carbone des sols sont très largement sur-évalués par LUCAS-Soil).

2.1.2.4 Le projet GlobalSoilMap

Le projet *GlobalSoilMap* peut être classé dans la catégorie « ascendante ». Il se distingue principalement des précédents par le fait qu'il ne vise pas une délimitation *a priori* de l'espace, mais qu'il cherche à prédire des propriétés des sols en tout point de cet espace, selon une maille régulière.

Le projet initial (Sanchez et al., 2009 ; Arrouays et al., 2014) vise la prédiction de 12 propriétés essentielles des sols, assorties de leurs incertitudes. Ces prédictions sont faites sur des intervalles de profondeur standardisés. La liste des propriétés n'est pas limitative et les spécifications du projet sont en révision permanente. Les techniques utilisées sont entièrement fondées sur la cartographie numérique des sols et sur l'utilisation des données sols disponibles et de données environnementales spatialement exhaustives (MNT, données de télédétection, données climatiques…). Le produit établi par CSMS est une grille au pas de 90-m donnant une valeur moyenne d'une propriété, et son intervalle de confiance, pour chacune des 6 profondeurs standards (0-5 ; 5-15 ; 15-30 ; 30-60 ; 60-100 ; 100-200 cm).

GlobalSoilMap est conçu comme un projet « bottom-up [5]». Les états élaborent leur produit en utilisant toutes les données dont ils disposent. A ce jour, l'Australie et les Etats-Unis ont mis en ligne une première version de leur produit. Les autres pays et régions les plus avancés sont la France, le Danemark, l'Ecosse et la Corée du sud. Des avancées notables sont aussi en cours au Canada, au Mexique, en Indonésie, au Nigéria et au Cameroun. Beaucoup d'autres pays se sont lancés dans des essais, mais qui ne couvrent le plus souvent à ce jour que des secteurs pilotes (Brésil, Hongrie, Tunisie, Chine, Iran, Tanzanie, Nouvelle Zélande, Colombie, Pays-Bas…).

[5] Une méthode qualifiée de « bottom-up » consiste à utiliser le maximum d'informations disponibles localement (par exemple tous les profils d'une base nationale) puis à faire « remonter » cette information pour l'agréger plus globalement. Inversement, la méthode « top-down » consiste à réaliser une cartographie globale sur une étendue plus grande (par exemple, l'Europe ou le Monde) en utilisant uniquement les profils accessibles à cette échelle. A noter que ces notions peuvent s'appliquer à toutes les échelles et étendues : par exemple une carte de type *GlobalSoilMap* réalisée pour la France peut être considéré comme « top-down » par rapport à des cartes qui seraient établies sur des étendues départementales ou régionales…

2.1.2.5 SoilGrids

SoilGrids, développé par l'ISRIC, reprend les spécifications de *GlobalSoilMap*. La conception est ici « top-down ». A partir de données de profils de sols compilées sur le monde entier, et de données auxiliaires disponibles sur le monde entier, SoilGrids propose une prédiction des propriétés des sols sur la base d'un modèle de type CSMS. SoilGrids est inévitablement moins précis que *GlobalSoilMap* : il dispose de moins de données ponctuelles, il ne dispose pas de données auxiliaires locales non disponibles mondialement, il privilégie les tendances globales au détriment des variations locales. Toutefois, il présente l'avantage de couvrir le monde entier de façon homogène et une possibilité de couvrir des « trous » de *GlobalSoilMap*. De toute évidence, un des enjeux scientifiques et pratiques majeur est de trouver comment combiner au mieux les deux prédictions, à la fois pour en tirer le meilleur parti et pour en harmoniser les sorties.

2.1.2.6 La base de données mondiale harmonisée des sols (HWSD)

La base de données mondiale harmonisée des sols (HWSD) est le résultat d'une collaboration entre la FAO, l'IIASA, l'ISRIC, l'Institut de Science du Sol de l'Académie des Sciences de Chine et le Centre Commun de Recherche Européen JRC-à Ispra. C'est une base fondée sur une représentation raster de 30 arc-secondes (environ 8 km) issue d'une combinaison entre la rastérisation de la carte à 1/5 000 000 des sols du monde (FAO, 1971-1981) et diverses autres sources d'information (Soter, BDGSE, Carte des sols de Chine…). Il s'agit donc d'un produit composite, fortement basé sur l'expertise. La carte renseigne les unités de sol dominantes à un très haut niveau taxonomique et propose une prédiction (parfois statistique, le plus souvent à dire d'expert) d'une sélection de paramètres pour les couches 0-30 et 30-100 cm.

2.1.2.7 Le contexte politique mondial : le pilier 4 du partenariat mondial pour les sols

Le partenariat mondial pour les sols, mis en place par la FAO (GSP), prévoit un pilier 4 dont l'objectif est de développer un système d'information sur les sols du monde. Le plan d'implémentation du pilier 4 prévoit l'élaboration d'une grille à haute résolution spatiale des propriétés des sols et reconnaît que les spécifications seront celles de *GlobalSoilMap*. Le GSP a mis en place un réseau des instituts nationaux en charge de la cartographie des sols (INSII) et délégué un institut pour héberger les données, réaliser le conseil technique et proposer des méthodes d'harmonisation, le « Soil Data Facility » (SDF) pour lequel l'ISRIC a été retenu suite à un appel d'offres. Le GSP affiche une attitude résolument « bottom-up » en déclarant que ce sont les états qui fourniront l'information et qu'ils en resteront propriétaires, et en déployant des formations qui sont pour la plupart assurées par l'ISRIC. L'expérience de la constitution de la carte mondiale du carbone des sols (0-30 cm) montre cependant que la situation n'est pas parfaitement claire. En se réservant le droit d'harmoniser les produits, le GSP peut se prévaloir auteur et propriétaire du produit final, tout en déclarant que ce produit est issu de sources nationales officielles…

2.1.3 Conclusion

Au plan international, la situation peut sembler très complexe du fait de la multiplicité des initiatives et des méthodes (Tableau 1). On peut néanmoins penser que le partenariat mondial sur les sols et l'INSII permettront à terme une meilleure coordination et une meilleure remontée des informations en provenance des pays (bottom-up). Le fait que l'ISRIC ait été retenu pour héberger le Soil Data Facility est un point important qui devrait aussi permettre de faire converger les approches top-down et bottom-up. Très récemment, les partenaires de *GlobalSoilMap* ont été sollicités par le Global Soil Partnership pour intégrer un groupe qui définira les spécifications des produits cartographiques demandés aux pays. Nous avons donc potentiellement à la fois un mécanisme politique qui poussera les pays (dont la France) à délivrer des cartes, et des ressources en Recherche Développement (ISRIC, JRC, *GlobalSoilMap*), qui pourraient s'allier et se complémenter pour l'aide à la réalisation de ces produits.

Programme	Leader	Emprise	Echelle / résolution	Méthode	Entité spatiales	Echantillonnage
BDGSE	JRC	Eurasie	1/1 000 000	descendante	polygones	base indépendante de sélection de profils fournis par les pays volontaires
SOTER	ISRIC et JRC	Monde (non achevée)	1/2 500 000	descendante	polygones	base indépendante de sélection de profils fournis par les pays volontaires
LUCAS Soil	JRC	Europe	250-500 m	ascendante	cellules raster	échantillonnage orienté conduit à l'échelle de l'Europe (environ 20 000 points)
GlobalSoilMap	INRA	Monde (non achevée)	90 m	ascendante	cellules raster	fondé sur tous les profils présents dans les bases nationales
SoilGrids	ISRIC et JRC	Monde	250 m	ascendante	cellules raster	fondé sur une sélection de profils fournis par les pays volontaires
HSWD	ISRIC	Monde	8 km	descendante	cellules raster	principalement par expertise

Tableau 1 : Récapitulatif des caractéristiques des principaux programmes internationaux de cartographie des sols

L'état comparatif des programmes de cartographie des sols en France et au plan international montre que la France est au milieu du gué. Elle va achever prochainement une couverture exhaustive du territoire national à l'échelle du 1/250000ème, dispose d'un SI national sur les sols important, est fortement présente dans les programmes internationaux de cartographie des sols et est très active dans le développement des nouvelles approches de cartographie par modélisation statistique. Mais, contrairement aux pays les plus avancés, moins de 20% de son territoire a bénéficié de prospections pédologiques détaillées, dont la précision et la haute résolution spatiale permettent de fournir l'information pédologique nécessaire à la gestion locale des sols pour une large gamme d'objectifs. L'enjeu futur principal est donc cette amélioration de la précision de connaissance des sols français.

2.2 Cartographie des sols par modélisation statistique et cartographie conventionnelle

La cartographie des sols par modélisation statistique (CSMS) connue à l'échelle internationale sous le vocable « Digital Soil Mapping » (DSM) peut être définie comme **la production d'estimations spatialisées de types de sol ou de valeurs de propriétés des sols en tout point**

de l'espace par des modèles statistiques alimentés par des données spatiales environnementales et calibrés avec les données de sol disponibles sur la zone d'étude.

Initiée à la fin des années 80 par des travaux pionniers en Australie, aux Etats Unis et en France, la CSMS a émergé véritablement avec la revue bibliographique publiée en 2003 par McBratney *et al.*, dans la revue Geoderma. Depuis lors, la CSMS a connu un essor important dans la communauté scientifique avec en particulier la création d'un Groupe de travail de l'Union Internationale de Science du Sol, générant des colloques internationaux bisannuels dont les actes ont fait l'objet de publications régulières d'ouvrages. De plus, un nombre important d'articles sur la CSMS a été publié dans des revues internationales de science du Sol (Figure 5).

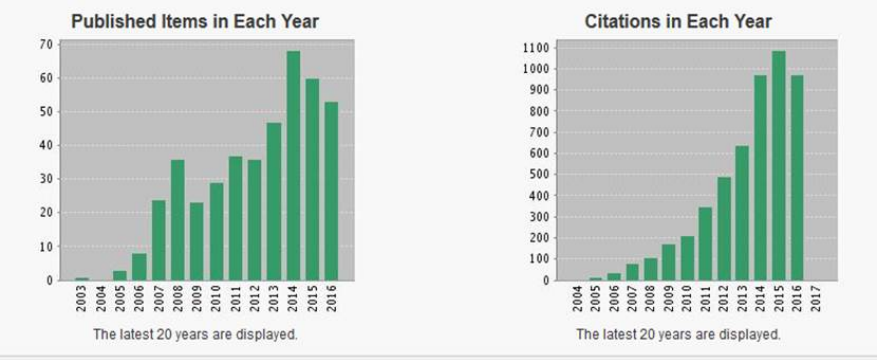


Figure 5 : Représentation du nombre de publications ou citations « Digital Soil Mapping » des 20 dernières années (WebOfScience, 13.10.2016).

Grâce à cette activité scientifique intense, la CSMS a rapidement acquis un degré de maturité qui permet d'envisager de l'utiliser à des fins opérationnelles en dehors du cadre de recherche où elle a été initialement cantonnée. Ceci a été concrétisé en particulier par l'émergence de plusieurs projets de cartographie d'envergure mondiale (*GlobalSoilMap,* SoilGrids, Pillar 4 GSP) décrits plus haut en section 2.1.2).

2.2.1 Principe général de la cartographie des sols par modélisation statistique

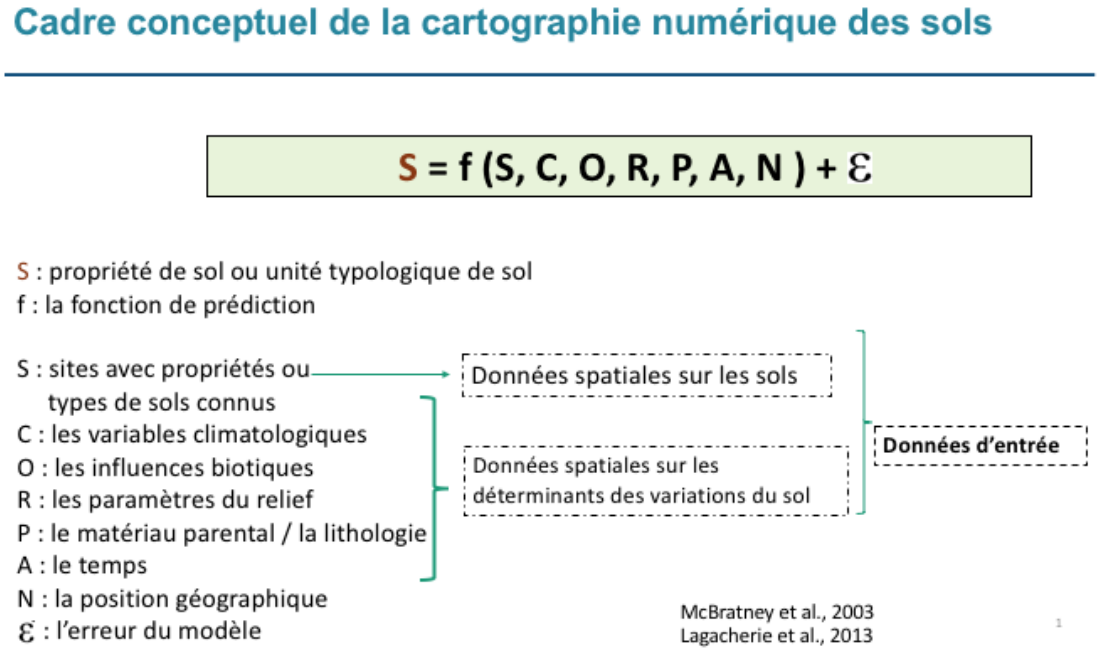


Figure 6 : Principe général de la cartographie des sols par modélisation statistique.

Le principe général de la cartographie des sols par modélisation statistique est résumé en Figure 6. Il s'agit de prédire des classes de sol ou des propriétés de sol en utilisant d'une part les données pédologiques disponibles sur la zone à étudier et, d'autre part, les données spatiales représentant des éléments du paysage en relation (de causalité ou non) avec les sols, appelées dans la suite « covariables du sol ». Ce concept reprend en partie le concept dit « CLORPT » de Jenny (1941) : Soil = f(CLimate, Organisms, Relief, Parent material, Time). Il y rajoute une dimension spatiale supplémentaire, la notion d'incertitude ou de variabilité « non prédictible » (le terme ε de la Figure 6), ainsi que le recours possible à des données spatiales numériques (Modèles Numériques d'Altitude, images de télédétection, données de capteurs de propriétés de sol) qui sont maintenant disponibles pour les pédologues cartographes. Ces prédictions sont réalisées par des fonctions de prédiction induites par des modèles statistiques (notamment des algorithmes d'apprentissage automatique) ou géostatistiques (de type « régression krigeage »). Ces modèles prennent en compte les données disponibles, et, si elle est disponible, l'expertise de pédologues. Cette dernière peut être intégrée dans les modèles de différentes manières (utilisation de cartes de sols existantes comme covariables de sol, choix éclairé des covariables utilisées dans la modélisation statistique, pré-délimitation dans la zone d'étude de systèmes pédologiques à modéliser séparément, etc.).

2.2.2 Similarités et évolutions par rapport à la cartographie pédologique conventionnelle

Comme évoqué plus haut, la CSMS partage avec la cartographie pédologique conventionnelle les mêmes hypothèses sur l'organisation spatiale des sols dans le paysage, matérialisée par le concept CLORPT de Jenny. Le principe de cartographie consiste toujours à contourner la difficulté d'obtenir des mesures de propriétés de sol en tout lieu en utilisant une série de données « auxiliaires » (les covariables de sol). De plus, comme pour la cartographie conventionnelle, le modèle de prédiction des sols s'appuie sur un ensemble de sites observés sur le terrain ou analysés en laboratoire (sondage, profils). Ainsi, pour les deux types de cartographie des sols, le degré de précision des prédictions de sol est fortement contingent i) du degré de complexité des relations entre le sol et ses covariables pour une zone d'étude donnée, ii) de la variabilité naturelle des sols plus ou moins marquée selon les milieux et, iii) de la densité spatiale des sites observés ou analysés (nombre de sites par km^2). Concernant ce dernier point, il est très important de souligner que la **CSMS** n'apporte pas sensiblement d'amélioration par rapport à la cartographie conventionnelle et **nécessitera toujours un effort significatif de caractérisation des sols sur le terrain**, à moduler selon la complexité des milieux pédologiques.

Au-delà de ces similarités, la CSMS présente des évolutions significatives par rapport à la cartographie pédologique conventionnelle qui sont résumées ci-après :

2.2.2.1 Un mode de représentation de la variabilité des sols profondément différent

Alors que la cartographie pédologique conventionnelle repose sur la délimitation d'unités de sol « homogènes » caractérisées par des sites « représentatifs » et représentées par une seule carte en plages (ou « choroplèthes »), la cartographie par modélisation statistique représente les variations de propriétés ou de types de sol par des valeurs de propriété ou de type de sol estimées sur des grilles régulières de résolution spatiale fixée à l'avance (ex : 90m x 90m pour GlobalSoilMap) couvrant la zone à caractériser. Pour une information donnée, chaque pixel de la grille ne porte qu'une valeur unique. Il s'agit d'une représentation plus souple et plus complète des variabilités de sol, particulièrement adaptée à la mise en œuvre de modélisations spatialisées sur la région étudiée. Elle peut cependant dérouter des utilisateurs habitués aux cartes pédologiques conventionnelles qui cherchent au final à identifier des zones homogènes pour leurs prises de décision. Pour cela, les cartes issues de la CSMS devront être traitées par des opérations de géomatique.

2.2.2.2 Un nombre plus important de données spatiales pris en compte

Alors que le pédologue cartographe s'appuie principalement sur un nombre limité de prises de vues de la surface du sol, aéroportées et satellitales, pour délimiter des unités de sol homogènes, la CSMS peut s'appuyer sur plusieurs dizaines de covariables de sol dérivées des données spatiales actuellement disponibles dans les infrastructures de données géographiques : par exemple modèles numériques de terrain, cartes géologiques et pédologiques numérisées, images de télédétections satellitales, données climatiques spatialisées. Les modélisations à base statistique permettent d'identifier, parmi toutes ces données spatiales, les plus pertinentes pour la prédiction des sols et les combinent pour obtenir les meilleures prédictions possibles. Il est ainsi escompté que la capacité d'utilisation par la CSMS d'un plus grand nombre de données spatiales sur le milieu, dont la qualité est en constante augmentation, est un facteur a priori favorable pour améliorer les prédictions par rapport à la cartographie des sols conventionnelle, à densité d'observations de sol égale.

Par ailleurs, des travaux récents ont montré que la CSMS pouvait également exploiter, en plus des données traditionnelles d'observation de la couverture pédologique, des mesures de certaines propriétés de sol par des capteurs à des densités spatiales jusqu'alors inenvisageables avec les moyens classiques d'observation de la couverture pédologique. L'utilisation de ces nouvelles données pour calibrer les modèles de CSMS ouvre des perspectives réelles d'amélioration des prédictions de sol.

2.2.2.3 Une formulation explicite et traçable du modèle de prédiction des sols

La carte pédologique conventionnelle s'appuie sur une expertise de terrain du pédologue cartographe qui n'est souvent que partiellement décrite dans les documents remis aux utilisateurs. Ces derniers sont ainsi dans l'incapacité de s'approprier le raisonnement du pédologue pour corriger et enrichir au fil du temps le document cartographique. Au contraire, la CSMS s'appuie sur des modèles totalement reproductibles et transférables. Il est ainsi possible d'envisager que les cartes de sol d'une région donnée puissent s'améliorer au fil du temps, soit en recalibrant les modèles à partir de nouvelles données acquises sur la région d'étude – sites observés, données de capteurs numériques, nouvelles covariables - soit en changeant de modèle à la faveur des avancées méthodologiques.

2.2.2.4 Une estimation quantifiée et une représentation explicite de l'incertitude de prédiction

La représentation de l'incertitude de prédiction des sols a toujours été reconnue comme un point faible de la cartographie pédologique traditionnelle. Traditionnellement, les cartes pédologiques étaient systématiquement caractérisées par une échelle, c'est-à-dire par le rapport entre la mesure d'une distance représentée sur le papier et la mesure de la distance « réelle » estimée sur le terrain. Le choix de l'échelle d'une carte dépendait d'une densité d'observation donnée. Des consensus se sont forgés au sein des différentes agences nationales de cartographie pédologique (en France, le Groupe d'Etude des Problèmes de Pédologie Appliquée en 1967) pour associer à cette échelle un degré moyen d'incertitude attendue des tracés des limites d'unités cartographique et de pureté de ces unités. Il s'agit d'une estimation d'incertitude très approximative et globalisée sur la zone d'étude. Le pédologue peut moduler cette estimation de l'incertitude en utilisant la notion d'unité cartographique de sol complexe, composée de plusieurs types de sol. Cette notion exprime le fait que, localement, des types de sols très différents n'ont pu être délimités, générant ainsi une incertitude locale plus importante. Enfin, la structure de la base de données-sol nationale (DONESOL) permet d'exprimer des variabilités intra-unité de sol des propriétés de sol. Au final, malgré ces différentes possibilités, les utilisateurs de cartes de sol ont très rarement accès à une information complète et fiable sur l'incertitude associée aux cartes pédologiques.

Un des grands intérêts des cartes numériques produites par CSMS est qu'elles sont systématiquement assorties d'estimations spatialisées des incertitudes sur la présence d'un type de sol ou la valeur d'une propriété estimée. En effet, les modèles statistiques et géostatistiques utilisés reposent sur des calibrations et des validations établies à partir de mesures et d'observations de terrain. L'erreur mesurée à l'issue de ces opérations peut constituer un élément

d'appréciation globale de ces incertitudes. De plus, de nombreux modèles permettent de prédire localement non seulement une valeur la plus plausible, mais aussi une distribution de probabilités de cette valeur. Ceci ouvre la possibilité d'une prédiction locale de l'incertitude, par exemple sous forme d'un intervalle de confiance comme spécifié dans GlobalSoilMap (Figure 7). Ainsi l'utilisateur dispose d'une estimation objective de l'incertitude des données sol, ce qui doit éclairer utilement sa décision d'utiliser ou non ces données pour une application donnée et, le cas échéant, d'enrichir ces données pour atteindre un niveau d'incertitude satisfaisant. Notons que la qualité de l'estimation d'incertitude doit toutefois être elle-même faire l'objet de vérifications méthodologiques.

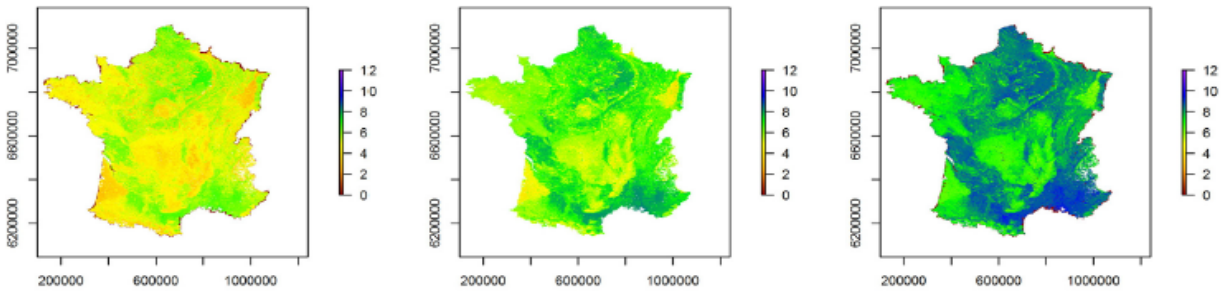


Figure 7 : Carte du pH. Exemple de représentation cartographique de l'incertitude sous forme d'un intervalle de prédiction à 90% : au centre valeur médiane prédite. A gauche et à droite bornes inférieure et supérieure de l'intervalle de prédiction.

2.2.2.5 Une évolution significative du processus de production des cartes de sol

La cartographie pédologique conventionnelle est traditionnellement l'apanage d'un expert pédologue cartographe qui assure l'essentiel des opérations : recueil des supports de cartographie, des informations pédologiques sur le terrain, tracés des limites de la carte et identification puis description des unités de sol, et enfin mise en forme des résultats pour les utilisateurs. La CSMS ouvre la possibilité d'une organisation plus segmentée de la production de cartes de sols. En particulier il est envisageable que production de données de base, élaboration des cartes numériques et diffusion des résultats soient confiées dans l'avenir à des spécialistes dans chaque segment. Ainsi les cartes numériques de propriétés de sol qui sont produites actuellement par des spécialistes de CSMS en France utilisent des données anciennes de sol et des données spatiales qui n'ont pas été générées par ces spécialistes. Ceci peut préfigurer un modèle de production des cartes de sol associant, d'une part, des producteurs de données « brutes » de sol (observations et analyses traditionnelles, recours à des capteurs numériques de proxy et télédétection, observations citoyennes participatives…) et, d'autre part, les producteurs de cartes numériques de sols utilisant les modèles statistiques.

Ce modèle de production des cartes des sols pourrait contribuer à accélérer le processus de cartographie des sols dans la mesure où plus d'acteurs seraient impliqués, chacun avec un haut niveau de compétence sur sa spécialité. Il présente cependant un risque certain de dérive vers des cartes numériques irréalistes vis à vis des observations de terrain. La présence d'un pédologue dans le processus de production de carte numérique peut atténuer ce risque en étant attentif à des motifs d'organisation inhabituels présents dans la carte qu'il conviendrait de valider spécifiquement.

2.2.3 Conclusion

La CSMS s'inscrit plus dans une logique de continuité par rapport à la cartographie pédologique conventionnelle que dans une logique de rupture. Elle partage en effet le même paradigme sur la variation des sols et, pour partie, les mêmes méthodes d'observation de la

couverture pédologique. Elle apporte des avantages évidents (prise en compte de plus de données spatiales, reproductibilité des cartographies, représentation de l'incertitude) mais aussi quelques difficultés d'appropriation liées à un nouveau mode de diffusion des résultats et sur lesquelles il conviendra d'être vigilant.

Enfin un frein important réside dans le faible nombre d'acteurs actuellement compétents en CSMS. Un effort de formation initiale et continue est à mener pour élargir ce panel d'acteurs.

2.3 Les besoins et attentes des utilisateurs et producteurs de données sol

L'enquête réalisée par internet auprès de près de 900 personnes et de 700 organismes a permis d'évaluer les besoins et attentes de 52 producteurs de données et de 175 utilisateurs de données au sens strict, c'est à dire n'étant pas également producteurs de données. Parmi les 52 producteurs, 36 sont classés « Développement & application » et 16 « Enseignement Sup-Recherche », tandis que chez les 175 utilisateurs, 35 sont classés « Enseignement Sup-Recherche », 37 « Développement & application agricole » et 103 « Développement & application non agricole » (Figure 8). Les principales conclusions de l'enquête sont reproduites dans l'Annexe 1. Nous présentons ici plus en détail les thématiques principales à fort enjeu qui ressortent de l'enquête.

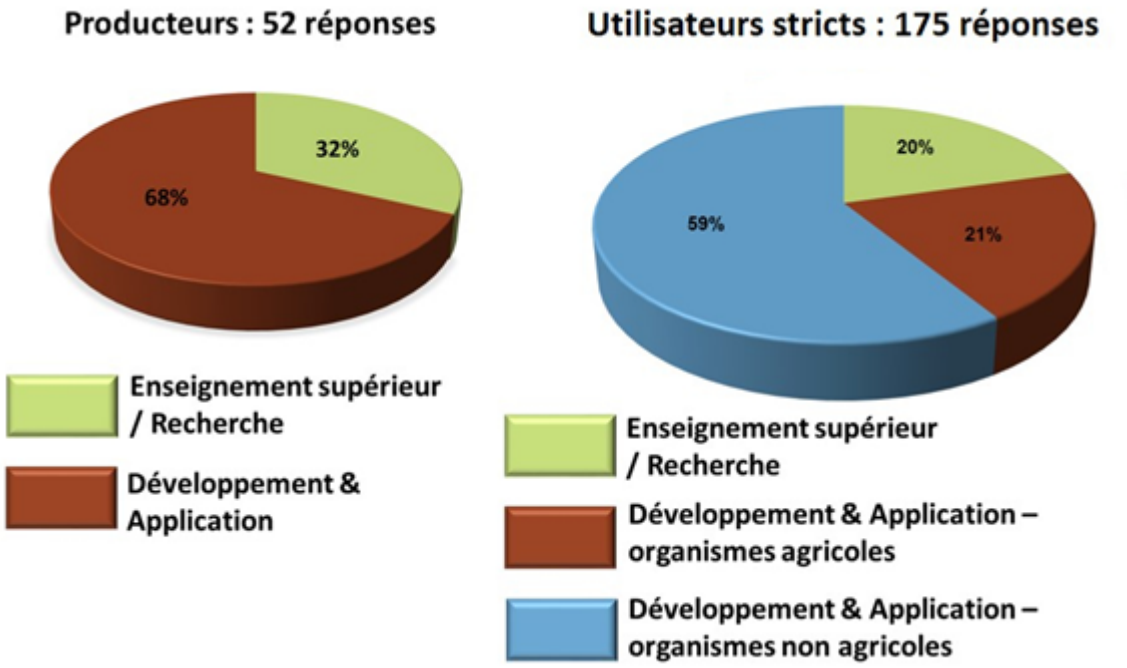


Figure 8 : Représentation des pourcentages de réponses selon la classification d'organismes choisis pour les deux questionnaires (producteurs et utilisateurs stricts).

2.3.1 Thématiques d'application des cartes pédologiques

La Figure 9 est une analyse des résultats de l'enquête concernant les réponses sur les applications réalisées à partir des données sols, vues à la fois par les producteurs et les utilisateurs. Elle met en regard les thématiques principales des utilisateurs et celles qui sont décrites par les producteurs. L'échelle des axes est une note globale de 0 à 6 qui traduit l'importance donnée à des thématiques par les utilisateurs (en abscisse) et par les producteurs (en ordonnée). Une bonne correspondance entre les besoins des utilisateurs et les priorités des producteurs se traduit donc par une position des points le long d'un alignement autour de la diagonale.

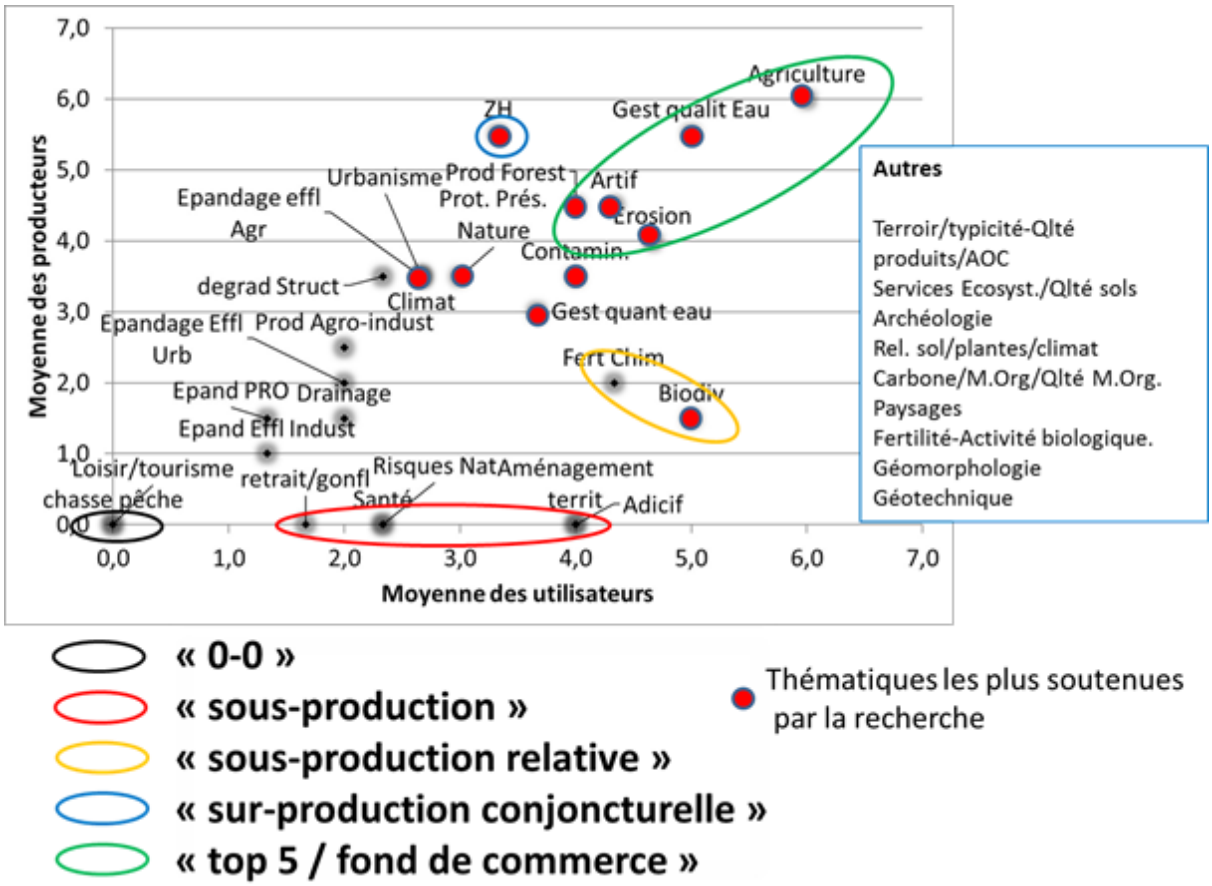


Figure 9 : Les grandes thématiques d'application des cartes de sol classées selon leur importance vue par les utilisateurs (abscisse) et par les producteurs (ordonnée). L'encadré résume les principaux commentaires libres faisant état de thématiques non proposées littéralement dans le questionnaire. Les couleurs figurent une tentative de classification en grands groupes.

Aux extrêmes de cette diagonale, on peut distinguer, d'une part, certaines thématiques complètement absentes (chasse/pêche, loisir/tourisme) et des thématiques très demandées et développées (agriculture, gestion de la qualité de l'eau, artificialisation des sols, érosion et production forestière), ces dernières constituant en quelque sorte le « fonds de commerce » des applications de la cartographie des sols. Ces thématiques opérationnelles font consensus entre utilisateurs et producteurs. Elles mériteraient juste une action de communication plus soutenue.

Très proches de l'axe des abscisses, entourées en rouge, on peut identifier des thématiques qui apparaissent en « sous-production » en regard des demandes potentielles qu'elles pourraient susciter. Elles apparaissent non traitées par les producteurs, ce sont en particulier des enjeux liés à la santé, aux risques naturels et à l'aménagement du territoire, aux services écosystémiques rendus par les sols et, pour l'instant à un degré moindre, au changement climatique. Ces thématiques mériteraient d'être plus investies, en développant des produits de démonstration.

Un peu en dessous de la diagonale apparaissent des thématiques (entourées en orange) jugées importantes par les utilisateurs mais qui restent néanmoins en sous-production relative. Inversement, on note une production supérieure à la demande apparente pour la thématique des zones humides (ZH entourée en bleu). Ce dernier point est sans doute lié à un effet de législation (décret concernant le zonage des zones humides) et au fait que cette demande de zonage a été adressée directement à plusieurs producteurs de données. Ce peut être également un biais lié à un déséquilibre de la population de l'échantillon « utilisateurs » pour ce thème. De fait, le décret concernant le zonage des zones humides a concerné de très nombreuses collectivités territoriales

qui ont ensuite commandité ces études, mais qui ne sont pas représentées en proportion équivalente dans les répondants à l'enquête.

Les points rouges figurent les thématiques qui ont été identifiées comme les plus importantes par les acteurs de la recherche, producteurs et utilisateurs confondus. Leur position vers les extrêmes positifs de la diagonale suggère une certaine adéquation entre les efforts produits par la recherche et le classement global, bien que la recherche « porte » en partie ce classement. A noter le positionnement particulier de la thématique biodiversité, identifiée comme prioritaire par les utilisateurs de la recherche, mais qui ne semble pas encore parfaitement intégrée dans les priorités des producteurs. Il est probable que ce positionnement est lié à la difficulté de dériver des indicateurs pertinents des données collectées, voire à l'absence de consensus sur ces indicateurs.

2.3.2 Les milieux et enjeux insuffisamment abordés

Nous tentons ensuite de mettre en évidence les domaines qui paraissent insuffisamment couverts. La Figure 10 permet de mettre en évidence que certaines combinaisons de milieux, d'enjeux, d'états ou d'actions d'origine humaine apparaissent comme relativement « orphelines ».

Ce mode de représentation est bien entendu discutable (en particulier en ce qui concerne le positionnement de la santé), mais il a le mérite de tenter un classement des principales combinaisons qui semblent actuellement faire défaut, ou qui sont encore sous-étudiées, lors de l'utilisation de données spatialisées sur les sols.

Nous avons en particulier exploité les réponses libres données par les répondants aux questions concernant les thématiques qui semblaient insuffisamment couvertes.

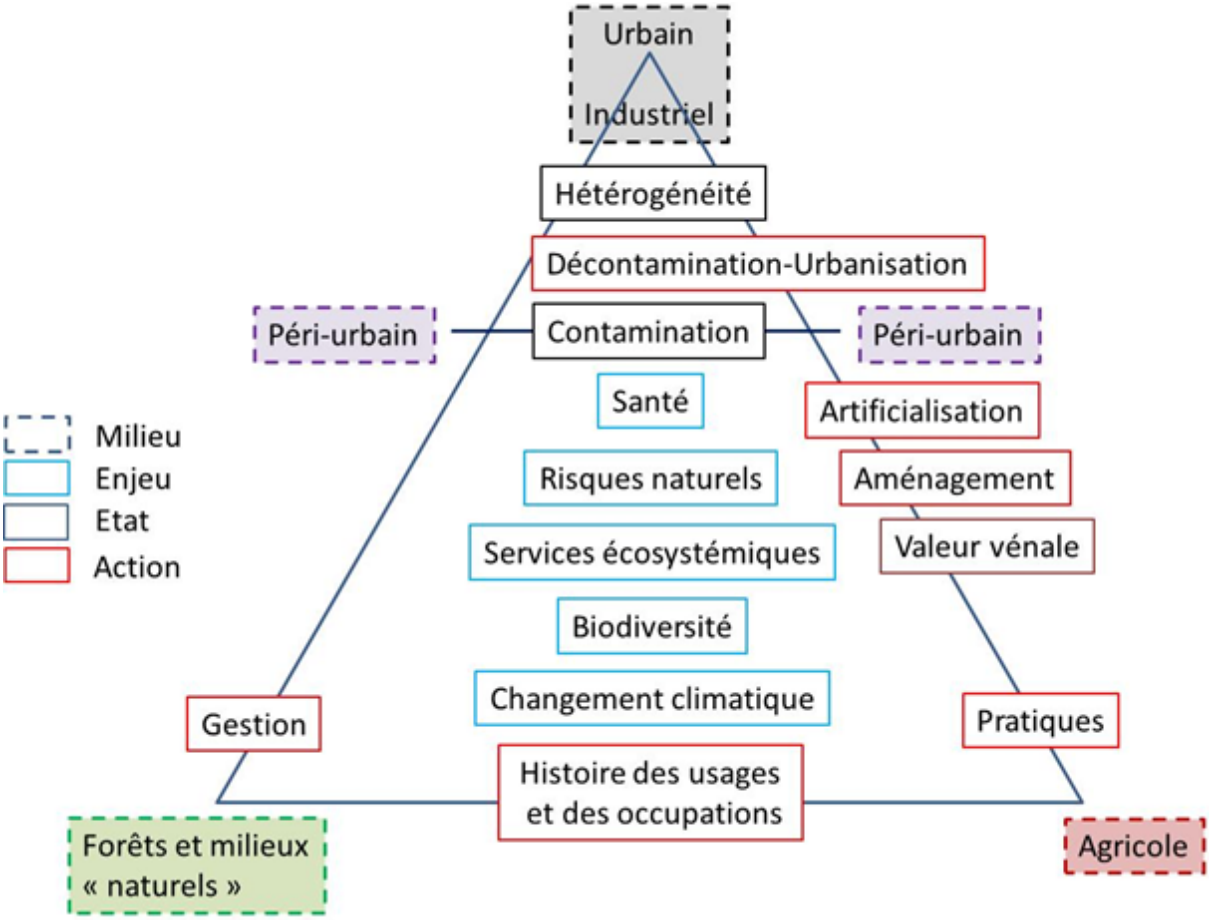


Figure 10 : Les combinaisons milieux/enjeux/états/actions insuffisamment couvertes par les applications des cartes de sol.

Au sommet du triangle, et aux frontières des milieux urbains/industriels et du péri-urbain, ressortent les thématiques de la décontamination et de l'urbanisation. La prise en compte des données sol dans la cartographie de ces milieux se heurte i) à leur très forte hétérogénéité ii) à l'importance des pressions qui les caractérisent (urbanisation, contamination, risques naturels), ainsi qu'au fait que ces milieux sont sous dotés en informations sur les sols. En effet, à part quelques rares exceptions, sur la plupart des cartes de sols conventionnelles à moyenne échelle, les sols urbains ont été simplement détourés et considérés comme des « non-sols ». Des données ponctuelles sur la contamination des sols urbains existent néanmoins, mais elles restent très peu traitées au plan cartographique et nécessitent un investissement fort pour la mise au point de méthodes adaptées aux particularités de ces milieux.

On conçoit pourtant que l'enjeu est majeur en particulier au plan de la santé, qui bien qu'étant prégnante partout, est évidemment plus prioritaire dans les zones les plus peuplées et supposées les plus contaminées, ce qui explique son positionnement près du pôle le plus anthropisé.

Le long de l'axe «anthropisé-agricole», se positionnent les thématiques de l'artificialisation, principalement à la frontière du péri-urbain, et de l'aménagement. Sur ces aspects, la « valeur vénale » des terres est un critère de décision majeur, qui tient à la fois de leurs propriétés intrinsèques, mais aussi de leur positionnement dans cet espace et d'actions d'origine anthropiques externes comme leur protection ou l'influence des marchés et de la régulation des échanges.

Le long de l'axe qui rejoint les milieux agricoles et forestiers ou semi naturels, ce sont principalement des données sur les actions d'origine humaine passées ou actuelles qui semblent faire défaut. A de nombreuses reprises, le besoin de caractériser les sols par les pratiques agronomiques ou les modes de gestion qui y sont appliqués est apparu comme crucial. Il en est de même pour la gestion passée des sols, pour lesquels des informations essentielles telles que l'historique de leur occupation font cruellement défaut. Plus généralement, si l'on se place dans un objectif de préconisation ou de suivi des évolutions futures, ce sont bien ces pratiques ou ces modes de gestion qui seront concernés, et dont on désirera mesurer ou prédire les conséquences. De nombreuses questions nécessiteraient de pouvoir spatialiser les systèmes de culture et les pratiques agricoles. Toutefois, à la différence des observations précédentes, combler ces lacunes ne relève pas d'une stratégie de cartographie des sols au sens strict mais probablement d'autres démarches complémentaires à concevoir (enquêtes, examens de photographies aériennes, de cartes anciennes d'occupation, intégration de données de télédétection, recherches de marqueurs ou de traceurs spécifiques d'évolution des usages…).

Les grands enjeux qui apparaissent encore sous-représentés dans les applications des cartes de sols ont également été positionnés dans ce triangle. A proximité des milieux agricoles et plus ou moins naturels, figure le changement climatique. La prise en compte des sols y est ici déterminante, tant par leur rôle possible d'atténuation ou d'augmentation (stockage de C, émissions de N_2O, etc.) du changement climatique que par leur potentiel pour l'adaptation (adaptation des productions au changement climatique, lutte contre les conséquences des événements climatiques extrêmes…).

En remontant dans le triangle figurant les milieux, figure ensuite la protection de la biodiversité, qui reste principalement l'enjeu de milieux non strictement urbains. Pour cet enjeu, la difficulté réside dans l'acquisition de données pertinentes et dans leur traduction en indicateurs opérationnels.

Au centre du triangle, c'est-à-dire d'importance égale pour tous les milieux, figure la problématique générique de l'évaluation des services écosystémiques. Son positionnement au centre est d'autant plus caractéristique que cette problématique se doit de réaliser une analyse à

la fois globale et spatiale des services rendus ou potentiels, et que les différents services ont de toute évidence des poids différents selon ces milieux.

En se rapprochant progressivement des milieux un peu plus anthropisés, la thématique des risques naturels doit sa position aux impacts sur le bâti et sur les risques encourus par les populations. Enfin, le manque de données sur les sols pour l'enjeu de la santé apparaît à proximité du pôle péri-urbain.

En complément, il pourrait être intéressant d'analyser les résultats de l'enquête à la lueur de l'ensemble des fonctions et services rendus par les sols. Cette approche permet l'identification de thématiques qui à ce jour mobilisent encore peu les BDD sols, mais représentent des voies de développement possibles d'activités, de sensibilisation de nouveaux acteurs, utilisateurs potentiels de données. Il en va ainsi du patrimoine culturel, ou encore de la fourniture de matériaux de construction (ou génie civil en général) par exemple…

Pour conclure, il ressort des éléments cités ci-dessus que, si de nombreuses thématiques font consensus entre producteurs et utilisateurs des données sol, certains thèmes importants comme la santé, les risques naturels, l'aménagement du territoire et l'évaluation des services écosystémiques sont encore peu développés. Répondre à l'ensemble des besoins exprimés suppose

- d'augmenter la gamme de propriétés de sol usuellement observées ou estimées,
- d'augmenter la résolution spatiale de la connaissance des sols pour pouvoir répondre à des enjeux de gestion locale,
- d'investir certains milieux sous-dotés en données (e.g. urbains et péri-urbain, industriels),
- d'améliorer la communication et la diffusion des données auprès de l'ensemble des utilisateurs potentiels.

2.4 Le cadre juridique de la diffusion et de l'utilisation des données sol

2.4.1 Périmètre des travaux

Cette section a été spécifiquement rédigée par Christine Le Bas, Antonio Bispo, Nathalie Gandon, Stéphanie Rennes de l'INRA suite à la demande du comité de rédaction de ce rapport. La section est une synthèse de divers travaux menés depuis 2013 sur les questions juridiques liées au statut des données collectées sur les sols dans le cadre du Gis Sol ou à la problématique de l'ouverture des données de la recherche. De 2013 à 2015, un contrat entre le Ministère de l'Agriculture et l'Inra avec comme prestataire l'Institut de droit de l'environnement de l'Université Jean Moulin de Lyon a eu pour objet d'étudier les aspects juridiques liés au système d'information sur les sols géré par InfoSol dans le cadre du Gis Sol. Un premier rapport a été établi par le prestataire en 2015[6]. L'analyse a ensuite été complétée par P. Nagy et S. Rennes de l'Unité contrats et propriété intellectuelle de l'Inra[7]. Pour ces deux rapports, des différences d'analyse ont montré la difficulté de répondre aux différentes questions posées. Dans le cadre de l'ouverture des données de la recherche (open data), d'autres analyses ont été menées dépassant le seul cadre des données sur les sols. Elles ont abouti à la rédaction en 2016 d'un guide d'analyse du cadre juridique pour les données de la recherche en France[8]. Cependant, depuis la parution de ces différents rapports et

[6] Billet P., Stahl L. et Silvain A. (2015) Étude juridique sur le Système d'information sur les sols géré par l'unité InfoSol de l'INRA. 'Institut de droit de l'environnement. Université Jean Moulin, Lyon 3. 65 pages + annexes.

[7] Nagy P. et Rennes S. (2015) Analyse du statut juridique des données acquises dans le cadre des programmes du GIS Sol. Rapport final du contrat Inra-ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt n°154/0154-14-13. Contrat Inra 32000578. 49 pages.

[8] Becard, N., Castets-Renard, C., Chassang, G., Courtois, M.-A., Dantant, M., Gandon, N., Martin, C., Martelletti, A., Mendoza-Caminade, A., Morcrette, N., Neirac, C. (2016). Ouverture des données de la recherche. Guide d'analyse du cadre juridique en France. DOI : 10.15454/1.481273124091092E12. http://prodinra.inra.fr/record/382263

guides, la loi a évolué avec notamment la promulgation de la loi sur la République Numérique d'octobre 2016 et de ses décrets d'application en 2017 ainsi que du nouveau règlement général européen sur la protection des données (RGPD) qui a pris effet au 25 mai 2018. Une révision du guide d'analyse du cadre juridique pour les données de la recherche en France a eu lieu et la 2e version du guide devrait sortir avant l'été 2018. Il convient donc de considérer ce chapitre comme une base posant les différentes questions, sans pour autant avoir déjà des réponses totalement validées, non sujettes à interprétation.

Par ailleurs, l'analyse du cadre juridique proposée dans ce chapitre ne concerne que les données sols qui sont présentes dans la base de données Donesol. Un certain nombre d'hypothèses sont donc faites qui ont des conséquences sur le cadre juridique : données présentes dans une base de données, détenue et développée par un organisme public (l'Inra) dans le cadre d'une mission de service public (appui au Groupement d'Intérêt Scientifique Sol, mission d'étude des sols). Cette base de données forme un Système d'Information Géographique (données géoréférencées). L'analyse ci-après ne peut donc pas s'appliquer à des données acquises dans un cadre différent.

2.4.2 Une diversité de situations d'acquisition des données

Les données de sols qui sont gérées dans la base de données Donesol peuvent être de différentes origines et de différentes natures. Elles peuvent avoir été acquises dans le cadre des programmes nationaux de cartographie et de surveillance des sols (programmes antérieurs au Gis Sol (Carte Pédologique de la France, IGCS), ou programmes repris ou initiés par le Gis Sol (IGCS, RMQS)). Elles peuvent aussi avoir été acquises dans d'autres cadres et réutilisées pour les programmes nationaux.

Si les données ont été obtenues par des organismes privés, pour des personnes privées, elles ne sont soumises à aucune obligation de diffusion. Leur éventuelle diffusion nécessite alors des autorisations.

Si les données ont été obtenues dans le cadre d'une **mission de service public** par des organismes qu'ils soient privés ou publics (appelés ci-après autorités publiques), elles rentrent alors dans le champ du code des relations entre le public et l'administration. De plus, si l'autorité publique est un organisme public (Etat, collectivités territoriales et leurs groupements, Etablissements Publics), les données sols sont alors également dans le champ du code de l'environnement (Livre Ier, Titre II, chapitre IV sur le droit d'accès à l'information relative à l'environnement). Si l'autorité publique est un organisme privé, les données sols entrent également dans le champ du code de l'environnement si la mission de service public pour laquelle les données sols ont été acquises est en rapport avec l'environnement.

Par ailleurs, si les données de sols ont une coordonnée géographique, elles peuvent être qualifiées de **données à caractère personnel** car les coordonnées sont une information indirecte sur le propriétaire du terrain auquel les données sols se rapportent. Qu'elles soient sous forme numérique ou papier, la loi Informatique et libertés s'applique et interdit donc la diffusion de ces données sans l'accord du propriétaire du terrain (si le terrain appartient à une personne physique), quelle que soit l'origine privée ou publique des données, sous réserve que les données couplées à la coordonnée GPS donnent des indications sur le propriétaire (comportement par exemple).

Si les données peuvent être qualifiées d'**œuvres de l'esprit**, comme c'est le cas pour les cartes de sol, alors le code de la propriété intellectuelle s'applique et protège l'auteur de la donnée qui peut également en limiter la diffusion et la réutilisation.

L'information sur les sols, avant même d'être en base de données, nécessite des prélèvements et des analyses de sols. Le sol sur lequel les échantillons ont été prélevés appartient au propriétaire du terrain tant qu'il n'a pas cédé son droit à une autre personne. Tout prélèvement d'échantillon devrait avoir fait l'objet d'une demande d'autorisation écrite auprès du propriétaire du terrain. Or, de nombreux prélèvements ont été effectués sans autorisation ou avec une autorisation orale du propriétaire ou de l'exploitant du terrain. En l'absence de preuve écrite ou si le prélèvement a

été réalisé sans autorisation, le propriétaire du terrain peut se retourner contre l'organisme qui a effectué le prélèvement et l'accuser de vol et de violation de propriété. Une prescription existe sur ce type de délits donc il est possible que l'échantillon de sol puisse être considéré comme appartenant à l'organisme qui a prélevé l'échantillon au-delà du *délai de prescription*. Mais cette possibilité reste à vérifier, tout comme la durée du possible délai de prescription. Si le prélèvement est illégal, la donnée obtenue à partir de ce prélèvement est elle-même entachée d'illégalité. Dans l'hypothèse où la prescription pourrait permettre de considérer que l'échantillon appartient à l'organisme qui a réalisé le prélèvement, cela ne signifie pas pour autant que l'on puisse diffuser les données d'analyses liées à cet échantillon.

2.4.3 D'où une diversité et une complexité des régimes juridiques

Le code des relations entre le public et l'administration définit la notion de **document administratif** comme étant un document produit ou reçu, quels que soient sa date, son lieu de conservation, sa forme et son support, par toute autorité publique. Il impose à ces autorités publiques de publier en ligne ou de communiquer leurs documents administratifs à toute personne qui le souhaite (article L311-1), sous certaines conditions (document achevé) et sous réserve des droits de propriété littéraire et artistique (article L 311-4). Il définit également les **informations publiques** comme étant les informations figurant dans les documents administratifs communiqués ou publiés par les autorités publiques et sur lesquels des tiers ne détiennent pas de droits de propriété intellectuelle (articles L321-1 et L321-2). Ces informations publiques peuvent être utilisées par toute personne qui le souhaite à d'autres fins que celles de la mission de service public pour les besoins de laquelle les documents ont été produits ou reçus sauf exceptions.

Le code des relations entre le public et l'administration distingue donc trois notions différentes : l'**accès** correspondant à la communication de documents administratifs suite à la demande d'une personne (physique ou morale), la **diffusion** correspondant à la mise à disposition du public de documents administratifs, et la **réutilisation** qui fait suite à un accès ou à une diffusion et correspondant aux actions que le réutilisateur peut mener avec les informations publiques contenues dans les documents administratifs qui lui ont été communiqués (suite à une demande d'accès) ou diffusés. Il est à noter que cette réutilisation ne concerne pas l'échange de données entre autorités publiques aux fins de l'exercice de leur mission de service public.

Il existe des exceptions à la communication (articles L311-5 et L311-6) qui peuvent être levées après un certain délai lorsque ces documents sont considérés comme des archives (le délai est fixé par le code du patrimoine et varie entre 25 et 100 ans). Cependant, si les données sont dans une base de données, il est possible de demander à accéder aux données avant le délai prévu par le code du patrimoine pour des traitements à des fins de recherche ou d'étude présentant un caractère d'intérêt public (article L311-8). Dans ce cas, l'autorité publique détenant la base de données peut demander l'avis du comité du secret statistique. Cependant, ce dernier ne s'est pas encore prononcé sur sa capacité à gérer ce type de demandes pour des données acquises hors enquêtes statistiques.

Le code de l'environnement (Livre Ier, Titre II, chapitre IV) s'exerce dans les conditions définies par le code des relations entre le public et l'administration sauf mentions contraires (article L124-1 du code de l'environnement). Il donne ainsi la possibilité à l'autorité publique de refuser l'accès aux données après avoir apprécié l'intérêt de leur communication pour un certain nombre d'interdictions de communication du code des relations entre le public et l'administration (article L124-4). Tout dépend de l'importance, pour l'intérêt général, de communiquer la donnée par rapport à la non divulgation. Cependant, le code de l'environnement, dans son article L124-5, indique que pour des données relatives à des émissions de substances dans l'environnement, le refus de communication ne peut concerner qu'un petit nombre d'interdictions. En dehors de cette liste, la communication est donc obligatoire.

Cependant, si le code de l'environnement dans son chapitre sur le droit d'accès à l'information relative à l'environnement, modifie les exceptions à la communication, celles-ci ne concernent que l'accès aux informations et non leur réutilisation, cette dernière étant définie uniquement dans le code des relations entre le public et l'administration.

Si les données sont considérées comme des œuvres de l'esprit, il sera nécessaire de déterminer si des tiers possèdent des droits de propriété intellectuelle car cela empêche leur réutilisation (mais pas forcément leur communication). Ce droit s'éteint au bout de 70 ans après le décès de l'auteur (ou 70 ans après sa publication pour une œuvre collective). L'auteur de la donnée peut, cependant, céder ses droits d'exploitation. C'est le cas notamment des agents publics qui cèdent à leur administration les droits d'exploitation de leurs œuvres réalisées dans le cadre de leurs fonctions, à l'exception toutefois des chercheurs et des enseignants-chercheurs.

Un élément de complexité s'ajoute selon que les données ont incorporé ou non des données provenant d'une œuvre préexistante. En effet, lorsqu'il y a utilisation de cartes de sol préexistantes (par exemple, synthèse réalisée à partir de cartes à plus grandes échelles), l'œuvre résultante peut être qualifiée d'œuvre composite (article L113-2 du code de la propriété intellectuelle). L'auteur de l'œuvre composite est celui qui l'a réalisée (article L113-4). Cependant, il doit aussi respecter les droits de l'auteur de l'œuvre préexistante et par conséquent obtenir son consentement pour la divulgation de l'œuvre.

Il est à noter également que la numérisation d'une œuvre de l'esprit est considérée comme une reproduction de l'œuvre et, par conséquent, elle est soumise à l'autorisation de l'auteur de l'œuvre (ou de celui qui détient les droits de reproduction).

Enfin, les bases de données bénéficient également de droits de propriété intellectuelle, indépendamment des droits sur les données elles-mêmes. Sont protégées la forme de la base de données (droit d'auteur sur le modèle de données si celui-ci est original) mais aussi son contenu par le droit de producteur de la base de données (il s'agit ici d'une protection de l'investissement réalisé pour constituer la base de données, hors investissement pour la création des données elles-mêmes). Le droit de producteur de base de données permet à celui-ci d'interdire l'extraction ou la réutilisation des données. Cependant, si le producteur de la base de données est une autorité publique (sauf si celle-ci a une mission de service public à caractère industriel ou commercial soumise à la concurrence), il ne peut interdire la réutilisation des bases de données qu'il publie (article L321-3 du code des relations entre le public et l'administration).

2.4.4 Conclusion

Les codes des relations entre le public et l'administration et de l'environnement incitent à diffuser et réutiliser les données. Cependant celles-ci doivent souvent être considérées comme des données personnelles car géo-référencées. Leur diffusion est donc limitée par la loi Informatique et Libertés. De plus, certaines données et notamment les cartes sont assimilées à des œuvres de l'esprit et dépendent alors du code de la propriété intellectuelle qui protège l'auteur en limite la diffusion et la réutilisation.

Dès lors, toute volonté de diffuser et de réutiliser les données sols collectées dans le cadre des programmes de cartographie des sols nécessite de préalablement déterminer le statut de ces données. Il faut pour cela revenir à l'origine des données et à leur mode d'acquisition. Une tentative de diagnostic est proposée en Annexe 4, mais elle demande encore validation auprès des services juridiques de l'Inra. En fonction de la nature des données, des pistes de réflexion permettant l'ouverture ont été mises en évidence (ex : anonymisation, demande d'avis administratif, diffusion de données invariantes sur la nature des sols). Si elles nécessitent d'être explorées, il est cependant plus que vraisemblable qu'une conclusion sera de dire qu'il restera des « risques juridiques » à ouvrir l'accès aux données. Un arbitrage politique sera à prendre au regard des risques encourus et de l'intérêt général que peut représenter l'ouverture des données sur les sols.

2.5 Conclusion

Comme indiqué en introduction de ce rapport, la cartographie des sols en France arrive à un tournant. L'achèvement prochain des RRP, l'arrivée à maturité de nouvelles méthodes cartographiques à fort contenu numérique, la croissance des besoins en données sol démontrée par l'avis d'une large gamme d'utilisateurs potentiels soulèvent de nombreuses questions et imposent de revoir l'ambition et l'organisation des programmes de cartographie au plan national.

Par rapport aux besoins exprimés, la couverture exhaustive de la France par des cartographies au 1/250000 permet de répondre à une partie d'entre eux. Toutefois de nombreux autres besoins nécessiteront des cartographies plus détaillées, ciblant notamment plus directement les propriétés de sol en sus des types de sol. Le développement des méthodes de cartographie à bases de modélisation statistique permet pro parte de répondre à cet enjeu, mais ne doit pas obérer un besoin fort de densification spatiale des informations pédologiques et d'approfondissement de la caractérisation des sols. Il pose la question de la formation des producteurs actuels et futurs de cartographie des sols. Il pose également de nouvelles questions aux acteurs dans le domaine des sols tels que l'existence à venir de plusieurs produits cartographiques concurrents sur un même territoire ou l'appropriation de nouvelles formulations de l'incertitude des cartes produites. Enfin, il ne résout pas, bien évidemment, un certain nombre d'enjeux latents, bien identifiés dans l'enquête, à savoir l'amélioration de la diffusion des données sol pour en augmenter la valorisation par le plus grand nombre possible d'utilisateurs et la recherche de modèles économiques viables pour la production et la valorisation des données sol.

Les scénarios techniques et organisationnels qui sont présentés dans la suite tentent de répondre à ces enjeux.

3 Les scénarios techniques

L'élaboration des scénarios techniques, présentée dans cette section, définit plusieurs ambitions possibles d'amélioration de la connaissance cartographique des sols au plan national et évalue leurs coûts de mise en œuvre technique.

La définition des scénarios repose sur trois choix principaux :

- celui de l'intensité de caractérisation des profils de sol qui vont être utilisés pour la cartographie proprement-dite,
- celui du mode et de la densité d'échantillonnage spatial sur la zone à cartographier et
- celui de la méthode de cartographie.

Dans la suite nous présentons les modalités possibles pour chacun de ces choix, puis identifions plusieurs scénarios techniques qui correspondent à des combinaisons des modalités identifiées et à des niveaux d'investissement différents.

3.1 Caractérisation des profils de sol

Quel que soit le mode de cartographie (CSMS et/ou CC) la qualité des prédictions cartographiques dépend avant tout de la densité des observations, des prélèvements et des analyses réalisées sur les échantillons. Sans préjuger de la densité d'échantillonnage souhaitable, il est nécessaire de définir les modalités d'observations et les variables qu'il sera nécessaire d'acquérir. Pour définir ces spécifications, le groupe de travail s'est fondé sur :

- l'expérience internationale et l'existence d'un jeu de variables minimal défini dans le cadre de *GlobalSoilMap*,
- les demandes ressorties de l'enquête auprès des utilisateurs,
- les avis d'expert des membres du groupe concernant la faisabilité et l'utilité de l'acquisition de ces variables.

Dans la suite, nous décrivons les spécifications techniques à retenir pour les phases de terrain.

3.1.1 Profondeurs d'observation et de prélèvement

- La description doit aller jusqu'au substrat géologique (roche dure) s'il est atteint avant 120 cm.

- Pour les sondages à la tarière : de 0 à 100 cm, noter la base des horizons pédogénétisés et la nature, la succession et les profondeurs des horizons.

- Sur fosses : décrire jusqu'à 200 cm si possible. Si cela est impossible pour des raisons pratiques, tenter de faire un sondage en fond de fosse pour l'échantillonnage.

- L'obligation de description sur fosse des horizons compris entre 1 et 2 mètres est retenue comme une option complémentaire nécessitant des moyens plus importants.

- Les prélèvements devront être réalisés par horizons pédogénétiques auxquels on adjoindra un prélèvement de surface si le sol n'est pas labouré. Il est nécessaire d'avoir au moins 3 données analytiques par profil pour pouvoir appréhender la variabilité des propriétés de sol avec la profondeur.

- En surface, on réalisera les prélèvements de la façon suivante :
  - 0-5 cm obligatoirement, sauf dans les horizons labourés,
  - puis de 5 cm à la base du A,
  - de 0 cm à la base du LA pour les horizons labourés,
  - les humus (couches OF et OH) sont prélevés séparément.
- Pour les horizons profonds diagnostiques, on réalisera :
  - 1 prélèvement par horizon diagnostique, au centre de l'horizon, et

- si l'épaisseur de l'horizon est supérieure ou égale à 50 cm, on réalisera deux prélèvements, un au sommet de l'horizon et l'autre à la base.

- Lorsque cela est possible on prélèvera également l'horizon ou la roche constituant le contact para-lithique ou lithique en profondeur.

3.1.2 Les variables prioritaires à acquérir

- Les variables suivantes doivent être caractérisées.
  - Texture 3 fractions (Argile, Limon, Sable).
  - pH_{eau}.
  - Eléments grossiers (abondance et nature).
  - CEC et cations échangeables.
  - $CaCO_3$ (si sol calcaire).
  - Carbone organique.
- Les attributs suivants devront être décrits.
  - Type de sol (selon RRP) et/ horizon diagnostique.
  - Profondeur apparition et disparition des horizons (base des horizons A, pédogénétisation (Base des S et B), contact para-lithique ou lithique).
  - Classes d'hydromorphie.

Dans cette configuration minimale, certaines variables pourront être estimées par fonctions de pédo-transfert (densité apparente ; réservoir en eau utile) mais seront alors entachées d'une forte imprécision.

3.1.3 Les variables complémentaires à acquérir

En complément des variables précédentes, les variables suivantes pourraient également être mesurées sous réserve de leur pertinence locale et de moyens plus conséquents.

- Réservoir en eau utile.
- Conductivité hydraulique à saturation.
- Densité apparente.
- Conductivité électrique.
- Stabilité structurale.
- Phosphore.
- Contaminants.
- Oligoéléments.
- Formes Fe et Al.
- Minéralogie des argiles.

Enfin, certaines propriétés ressorties de l'enquête comme présentant un intérêt majeur nécessitent encore une définition préalable avant de les proposer pour une acquisition en routine.

- Biodiversité (indicateurs).
- Qualité de la structure.

3.2 Modalités d'échantillonnage et de prospection spatiaux

C'est la densité spatiale des données sol disponibles qui détermine au premier ordre la précision des cartographies, conventionnelles et à bases statistiques. Pour procéder à une éventuelle augmentation de la densité spatiale des observations pédologiques, notamment celles réalisées sur profils de sol, nous envisageons des modalités d'ambitions différentes basées selon 3 approches.

- **Améliorer et homogénéiser la densité d'échantillonnage au plan national par rapport à l'état actuel**. Cette approche permettra d'augmenter la précision actuelle fournie par les RRP et offrira la possibilité de développer des approches de CSMS plus précises que celles réalisées à ce jour à des échelles nationales ou régionales. En revanche, elle ne permettra pas de répondre aux exigences de précision pour une exploitation des données à l'échelle d'une parcelle ni à celle d'une exploitation agricole.
- **Investir dans des cartographies détaillées de petits secteurs représentatifs (secteurs de référence) dans les petites régions agricoles où il n'existe aucune cartographie à moyenne échelle ou grande échelle** et où la densité d'observations présentes dans DoneSol est faible. Il s'agit ici d'acquérir des références sur la variabilité des sols à des échelles parcellaires afin de construire ultérieurement des modèles d'organisation spatiale des sols extrapolables par CSMS. Cette approche présente l'avantage de permettre une meilleure appréhension de la variabilité locale mais l'extrapolation restera limitée en précision, en particulier à cause de la difficulté de la délimitation du domaine de validité de cette extrapolation.
- **Faciliter la capitalisation d'informations et de données issues d'acteurs professionnels intervenant hors programmes IGCS.** Dans de nombreux secteurs (conseil agronomique, gestion forestière, études de captages…), des acteurs professionnels recueillent localement de l'information sur les sols par des observations de terrain dans le cadre d'études pédologiques ou à l'occasion de prospections à la parcelle. Cela correspond à une part significative des données recueillies actuellement sur le sol. Il est donc important de développer une action pour que ces données, aujourd'hui peu utilisées en dehors de leur contexte initial d'acquisition, puissent être capitalisées pour être réutilisées à d'autres finalités. Il s'agit de promouvoir des standards d'acquisition et de format de saisie des données au-delà du programme IGCS et de soutenir le travail de mise en BD nationale ou régionale.
- **Procéder à une cartographie systématique des sols correspondant à la précision du1/50000ème**. C'est l'approche la plus ambitieuse qui est à la fois systématique et détaillée et qui permettrait de répondre à de nombreuses attentes des utilisateurs, bien que ne permettant pas directement les conseils à l'échelle parcellaire. Cette approche systématique constitue ainsi notre référence. Elle n'est toutefois pas réaliste dans la situation actuelle, tant à cause de son coût évalué à environ 300 millions d'euros, qu'à cause du nombre de spécialistes qu'il faudrait mobiliser. En revanche, maintenir un soutien national aux cartographies à moyenne échelle permet à moindre coût de capitaliser les initiatives en cours, de pérenniser les compétences et de provoquer des effets d'entrainement, même dans des régions ayant déjà été actives par le passé et disposant déjà d'une forte densité de données sol.

Les scénarios techniques prennent en compte le coût de réalisation de nouveaux profils de sols et/ou les coûts liés à des prospections de terrain. Certains nouveaux profils pourraient aussi correspondre à de la récupération de données anciennes mais non encore stockées dans le SI Sol. En tout état de cause, leur proportion restera faible et ces données anciennes ne seront pas toujours pertinentes en termes d'utilisation (i.e. analyses avec des méthodes obsolètes ou instabilité de certains paramètres trop évolutifs au plan temporel) et ne seront pas non plus toujours idéalement positionnées (i.e. redondantes avec des données déjà saisies).

3.2.1 Densification des profils de sol

Dans cette modalité nous partons du principe que l'objectif est d'atteindre une densité minimale sur l'ensemble de la France. Nous faisons l'hypothèse qu'une stratification du territoire en petites régions agricoles (PRA) est une agrégation spatiale pertinente pour juger de l'hétérogénéité spatiale de cette densité à l'échelle du territoire national. En effet, les PRA correspondent aux délimitations les plus proches des « petites régions naturelles pédologiques » qui seraient idéalement à considérer mais dont il n'existe pas encore de carte nationale.

Pour réaliser ces simulations nous nous fondons sur deux propriétés mesurées figurant dans les spécifications développées en 3.1.2 et dont les densités représentent deux extrêmes : le carbone organique et la CEC (en surface et à 60 cm de profondeur). Nous calculons pour chaque petite région naturelle l'inverse de la densité (en nombre d'hectares pour une mesure) que nous appellerons densité par la suite, par commodité. Notons que les classes de densité figurées sur les cartes sont en partie calées sur le CCTG des RRP (en particulier les seuils 2000, 4000 et 6000). Les cartes (Figure 11 et Figure 12) font clairement apparaître les disparités locales et indiquent les régions qui devraient être prioritaires pour de nouvelles acquisitions.

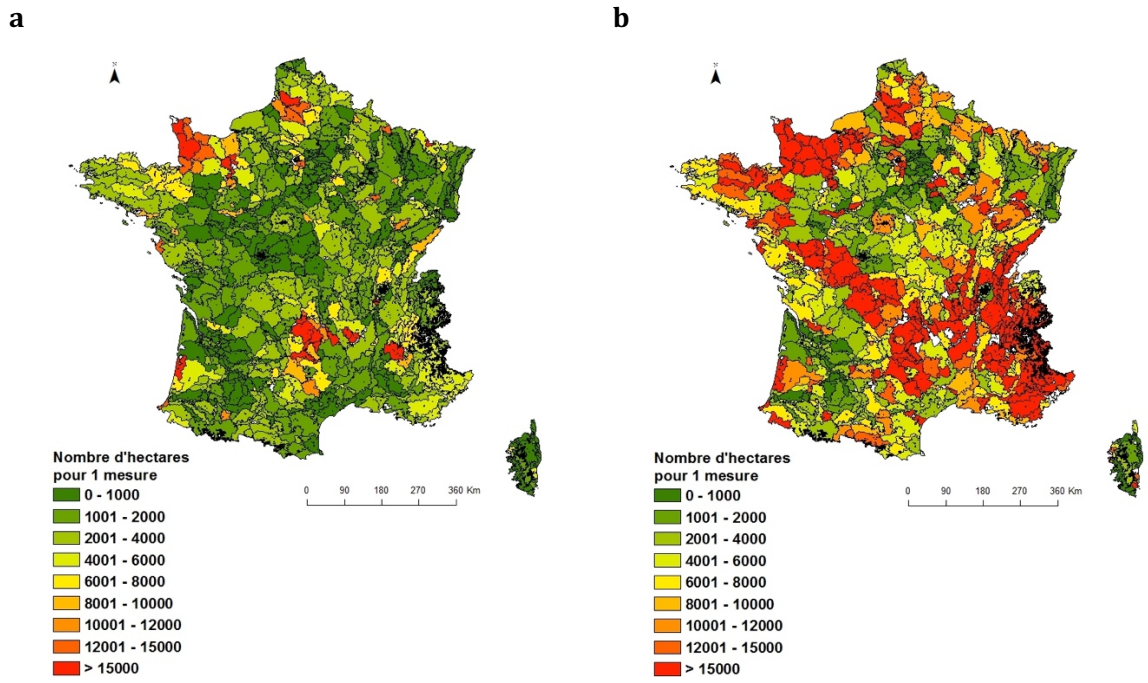


Figure 11 : a- carte de la densité de mesures de carbone organique en surface par PRA. b- carte de la densité de mesures de carbone organique en profondeur (60 cm) par PRA. Les zones laissées en blanc correspondent à une absence totale de la donnée sur la PRA

a **b**

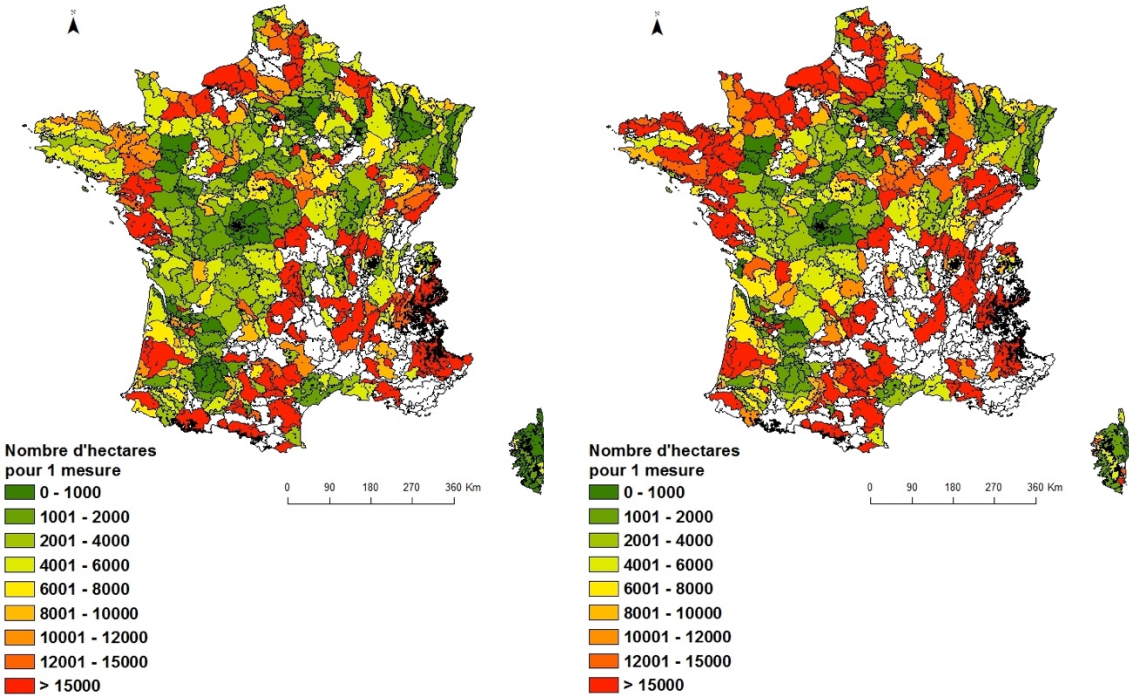


Figure 12 : a- carte de la densité de mesures de la CEC en surface par PRA. b- carte de la densité de mesures de la CEC en profondeur (60 cm) par PRA. Les zones laissées en blanc correspondent à une absence totale de la mesure sur la PRA.

Connaissant la surface des PRA (hors plans d'eau, roches nues, glaciers et urbanisation dense) nous pouvons calculer le nombre de profils supplémentaires à acquérir pour amener l'ensemble du territoire à une densité minimale souhaitée (Figure 13).

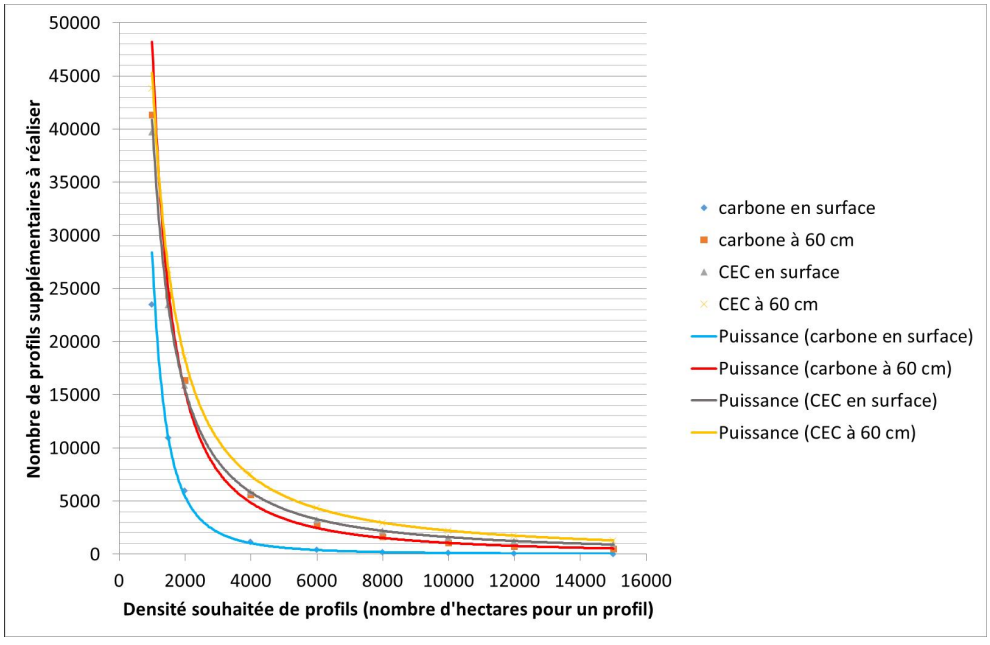


Figure 13 : Nombre de profils supplémentaires à acquérir pour amener l'ensemble du territoire à une densité minimale souhaitée

Les courbes obtenues se calent presque parfaitement sur des lois de puissance négative. Il est important de noter l'effort considérable à consentir pour amener l'ensemble du territoire aux densités préconisées pour les deux meilleurs niveaux de qualité des RRP, à savoir les niveaux « optimum » (1 profil pour 2000 ha) et « avancé » (1 profil pour 4000 ha). Ces deux niveaux constituent les modalités que nous retenons pour les scénarios techniques. Elles constituent des étapes significatives d'amélioration de la connaissance des sols par rapport à l'état actuel qui reste hétérogène du fait des différences de densités d'observations entre RRP et même au sein d'un RRP.

3.2.2 Mise en place de secteurs de référence dans les zones les moins bien connues

Nous faisons ici l'hypothèse d'une stratégie complémentaire fondée sur la réalisation de cartographies conventionnelles sur des secteurs de référence représentatifs d'une petite région. L'approche secteur de référence permet la prospection à haute résolution de la variabilité de sols sur un secteur restreint et représentatif des sols d'une région. Elle complète donc des échantillonnages systématiques sur une région qui visent une observation exhaustive de la couverture pédologique mais dont les densités d'observations sont nécessairement limitées du fait de leurs coûts. Elle constitue une base pour l'extrapolation par CSMS.

Nous croisons la carte des PRA avec celle des cartes pédologiques existantes à des échelles supérieures ou égales à 1/50 000, afin d'identifier les PRA ne disposant d'aucune étude à ces échelles. La carte (Figure 14) montre clairement les zones où il y a une absence totale de cartographie à des échelles moyennes ou détaillées et où un effort de prospection à haute résolution serait bienvenu.

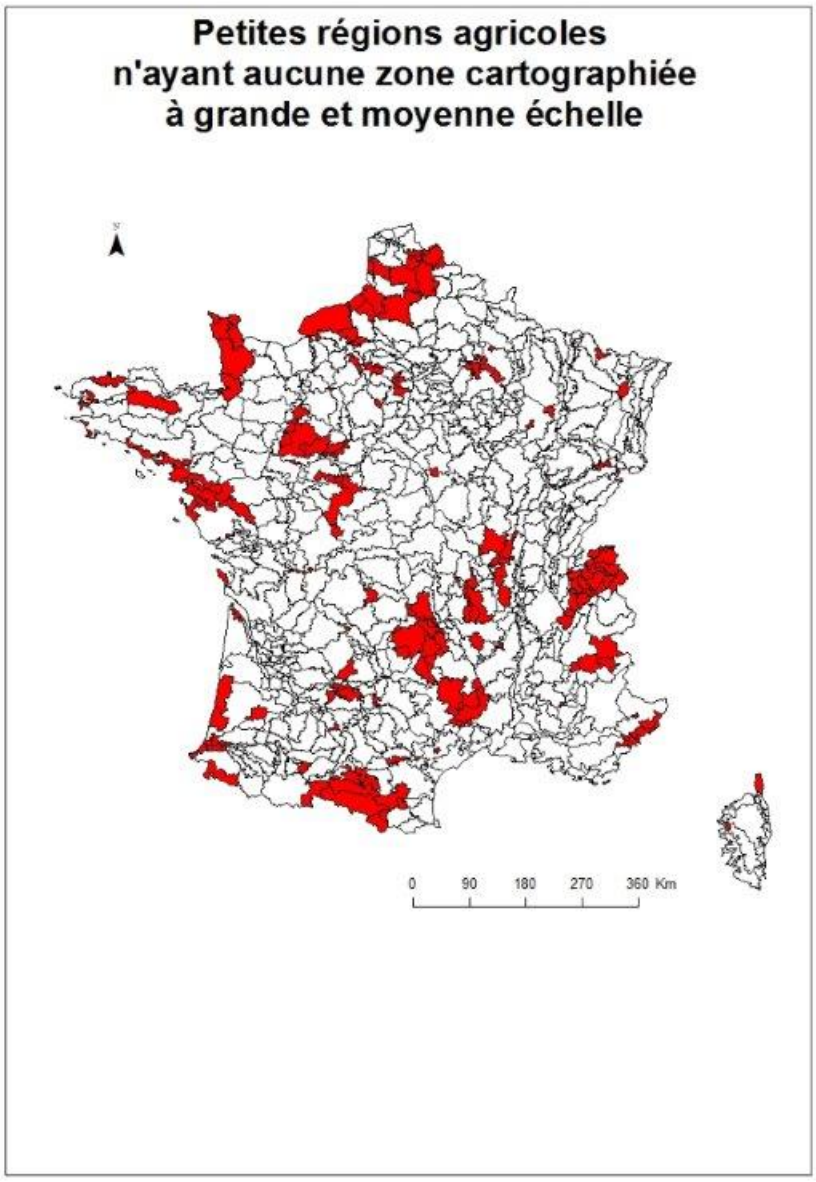


Figure 14 : Petites régions agricoles n'ayant aucune carte conventionnelle à une échelle supérieure ou égale à 1/50 000 (en rouge).

3.2.3 Faciliter la remontée d'informations issues d'acteurs professionnels

Des acteurs professionnels exerçant dans différents domaines recueillent localement de l'information sur les sols par des observations de terrain, que ce soit dans le cadre d'études pédologiques en tant que telles, ou à l'occasion de prospections à la parcelle pour répondre à une demande immédiate. Cela concerne de nombreux secteurs comme par exemple le conseil agronomique, la caractérisation des aires d'alimentation et de protection de captages pour l'alimentation en eau potable, les opérations d'aménagement du territoire, la gestion forestière, la conception de plans d'épandage de déchets ou encore les zonages et études de zones humides. Il est difficile d'effectuer un recensement précis des données de sol ainsi collectées mais il est évident qu'elles représentent une part significative (sinon majoritaire) des données recueillies actuellement sur le sol. Il est donc important de développer une action pour que ces données, aujourd'hui peu utilisées en dehors de leur contexte initial d'acquisition, puissent être capitalisées dans des bases de données pédologiques pour être réutilisées à d'autres finalités. Cette action pourrait comprendre plusieurs volets.

- **Conception et application de standards de qualité d'étude pédologique**. Les opérations locales de collecte de données sols sont le plus souvent collectées selon des protocoles disparates et par des acteurs de compétences inégales en pédologie. Des cahiers des charges adaptés à chaque secteur d'application doivent être rédigés et testés sur des secteurs pilotes.
- **Récupération et saisie des données pédologiques anciennes dans les bases de données nationales ou régionales** : Il s'agit de généraliser et d'amplifier l'action menée depuis quelques années par Infosol pour récupérer les données pédologiques anciennes encore non numérisées. De nombreux gisements de données sol existent encore en France, notamment (et pas seulement) ceux des compagnies d'aménagement ayant eu des services de cartographie pédologique actifs jusque dans les années 80.
- **Harmonisation des formats de saisie des informations pédologiques**. Le format national DONESOL ne constitue pas encore un standard au-delà des programmes nationaux d'inventaire pour lequel il est imposé. Une action est à mener pour promouvoir ce format en vue d'une généralisation de son utilisation dans le cadre des études pédologiques locales. Notamment, des outils basés sur DONESOL sont à fournir aux opérateurs locaux pour faciliter la remontée d'informations de terrain issues des acteurs professionnels.
- **Incitations à la mise en base de données nationale ou régionale**. Différents moyens sont à mettre en place pour promouvoir la remontée des données sols recueillies au cours d'études pédologiques locales : inscription de cette opération dans les cahiers des charges, financement du surcoût lié à cette opération ou fourniture d'une contrepartie attractive à la saisie des données. Ces contreparties peuvent prendre plusieurs formes : Accès privilégié aux données pédologiques déjà disponibles sur la région, abonnements gratuits aux IDG régionales gérant les données pédologiques, etc.

3.3 Modalités de méthode cartographique

Les scénarios de cartographie des sols sur le territoire français envisagent le recours important aux techniques de CSMS exposées précédemment (2.2.) avec toutefois une prise en compte des données issues de cartographies conventionnelles, soit anciennes, soit poursuivies dans des régions particulièrement dépourvues en données pédologiques ou présentant un enjeu particulier. Ces scénarios prennent en compte le fait que l'ensemble du territoire métropolitain sera intégralement couvert à brève échéance par des Référentiels Régionaux pédologiques au 1 :250 000 et que les données spatiales utiles à la CSMS (Modèles Numériques de terrain, images de télédétection, cartes d'occupation des sols, cartes géologiques numérisées…) sont également accessibles sans contrainte sur ce territoire.

Il existe une grande diversité de techniques de CSMS dont le choix doit être raisonné pour chaque zone d'étude selon la disponibilité en données sols. Nous indiquons dans le Tableau 2. les techniques de CSMS qu'il est possible de mettre en œuvre dans l'état actuel d'avancement des recherches en fonction de la disponibilité en données sol sur le territoire à cartographier.

	Echelle spatiale des cartographies pédologiques disponibles			
	Aucune carto <1/250 000	1/50 000< carto exhaustive< 1/250 000	Carto exhaustive > 1/50 000	Carto > 50 000 non exhaustive
Pas ou peu de profils de sol caractérisés	Approche de formalisation d'expertise carto » M2		Approche « de formalisation d' expertise carto » M1	Extrapolation Secteurs de référence

Profils de sol caractérisés abondants	approche pédo-statistique M1	approche pédo-statistique M2	

Tableau 2 : Règles de choix des méthodes de CSMS en fonction de la disponibilité en données sol ponctuelles et en cartographies pédologiques. M=modalité

3.3.1 Formalisation d'une expertise issue d'une carte des sols conventionnelle

Cette approche consiste à dériver, sur la même zone couverte par la carte, des estimations de propriétés à partir des descriptions des unités cartographiques de sol. Si la carte pédologique a été numérisée dans DONESOL, les descriptions considérées seront les valeurs modales minimales et maximales décrivant les strates des unités typologiques de sol. Dans le cas contraire seront utilisées les valeurs de propriétés de sol déterminées sur les profils représentatifs des unités de sol. Une estimation d'incertitude pourra être obtenue en utilisant les champs de la base DONESOL prévus à cet effet (valeurs minimales et maximales ou variantes par rapport à la valeur modale d'une propriété) ou en interprétant la description textuelle des unités.

Cette approche suppose que la carte pédologique utilisée ne comporte que des unités simples, ce qui est généralement le cas pour les cartes pédologiques les plus détaillées (approche de formalisation M1 dans le Tableau 2). Dans le cas d'unités cartographiques complexes contenant plusieurs unités typologiques de sol (cas le plus fréquent pour des études pédologiques à petite échelle comme les RRP), l'inférence de propriétés s'avère plus complexe (approche de formalisation M2 dans le Tableau 2). Différentes approches sont préconisées et en cours de test : moyennes pondérées par les surfaces d'unités typologiques ou délimitations estimées d'unités typologiques par désagrégation spatiale d'unités complexes. Une des principales difficultés de ce type d'approche est que l'incertitude associée aux unités typologiques de sol définie est souvent inconnue.

3.3.2 Les approches pédo-statistiques

Ces approches reposent sur l'existence d'un ensemble d'apprentissage constitué d'un ensemble de sites ponctuels couvrant la zone d'étude de façon la plus homogène possible. Sur ces sites, sont renseignés, d'une part, la classe de sol ou la valeur de la propriété d'intérêt et, d'autre part, un ensemble de propriétés du paysage supposées en relation avec le sol (ex : relief, roche mère, occupation du sol, taux de végétation …) et par ailleurs disponibles sur la zone d'étude à prédire. Il s'agit dès lors d'appliquer un modèle pédo-statistique (fouilles de données ou modèles géostatistiques selon les densités de sites) calibré à partir de l'ensemble d'apprentissage et prédisant la classe de sol ou la valeur de la propriété d'intérêt à partir des propriétés du paysage sélectionnées par le modèle pour leur pouvoir prédictif. Une fois ce modèle ainsi calibré, il est appliqué sur des sites non renseignés pour prédire une classe de sol ou valeur de propriété, ainsi qu'une estimation de l'incertitude associée à la prédiction.

L'approche classique est celle décrite ci-dessus (approche pédo-statistique M1 dans le Tableau 2). Des études récentes ont montré que, si des cartes pédologiques exhaustives existaient sur la zone à cartographier, il était possible de les considérer également comme une propriété du paysage supplémentaire susceptible d'alimenter le modèle pédo-statistique et d'en améliorer les performances (approche pédo-statistique M2).

3.3.3 Extrapolation de secteurs de référence

L'approche consiste à formaliser l'expertise contenue dans des cartes pédologiques d'extension limitée pour permettre leur extrapolation sur de plus grandes superficies pour lesquelles elles seraient représentatives. Pour prédire les classes de sols de ces cartes pédologiques, les approches mises en œuvre sont similaires aux approches pédo-statistiques décrites précédemment. La différence est que les sites de l'ensemble d'apprentissage sont concentrés sur

la sous-zone bénéficiant de la carte pédologique, ce qui leur permet d'être renseignés par une classe de sol connue. La difficulté de ces approches est de préciser la zone de représentativité de la carte pédologique utilisée et d'estimer le facteur d'incertitude supplémentaire lié à l'extrapolation spatiale. Pour le cas de nouvelles cartographies conventionnelles, il convient aussi de savoir choisir la zone d'étude de façon à ce que la zone d'extrapolation spatiale soit la plus vaste possible. La présence systématique sur l'ensemble du territoire des Référentiels Régionaux Pédologiques offre désormais un support fiable pour raisonner ces problèmes de représentativité. Néanmoins, des progrès méthodologiques sont encore nécessaires pour rendre opérationnelle cette approche.

Il est important de considérer que ces différentes approches peuvent être combinées afin de tirer parti au mieux de toutes les informations et de toutes les connaissances disponibles. Il est en effet possible de « mixer » des prédictions obtenues de façons différentes pour en dériver la meilleure prédiction. Dans tous les cas, il faut également retenir que la densité d'informations ponctuelles est un facteur primordial pour expliquer les variations de performances entre les approches.

3.4 L'évaluation des coûts

3.4.1 Réalisation et analyse d'un profil

Le coût de la réalisation d'un profil de sol (main d'œuvre, creusement, déplacement, analyses, saisie) est évalué à 1800 € en considérant une gamme de caractérisations du sol comprenant les variables prioritaires et quelques variables complémentaires (voir Annexe 3). D'autres choix pourraient être faits qui diminueraient le coût d'un profil en limitant le nombre de caractérisations ou en l'augmentant par des caractérisations supplémentaires. Nous avons choisi ici de n'envisager qu'une modalité moyenne afin de limiter le nombre de scénarios techniques comparés.

3.4.2 Densification spatiale des données

Le coût lié à une densification du nombre de profils de sols est évalué sur l'abaque présentée en Figure 15.

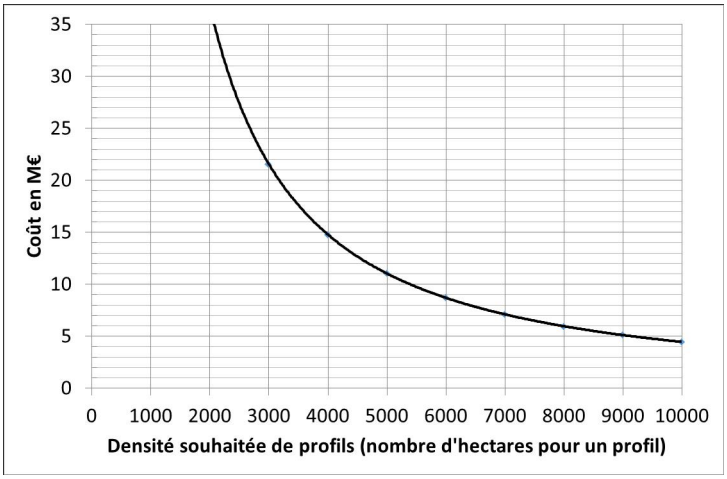


Figure 15 : Coût de densification du nombre de profils en fonction de la densité minimale souhaitée par PRA sur le territoire.

3.4.3 Mise en place de secteurs de référence

Le coût de réalisation d'une carte de type Secteur de Référence à 1/20 000 (main d'œuvre, déplacements, sondages, profils, analyses, saisie, dessin de la carte, numérisation) est évalué à 70 €/ha sur la base d'une densité d'un sondage pour 5 hectares et d'un profil pour 50 hectares.

Nous testons ici l'hypothèse de la mise en place de secteurs de référence dans les zones ne présentant aucune carte conventionnelle d'échelle supérieure ou égale à 1/50 000. Cette mise en place peut suivre une priorisation en fonction du la connaissance générale des sols de la région, représentée par la densité globale de profils de sols décrits sur la région. La Figure 16 représente ainsi l'évolution du coût en fonction du seuil de densité de profils choisi pour la mise en place des secteurs de référence. On observe un certain nombre d'inflexions de la courbe, en particulier autour de 4, 7, 8 et 13 M€.

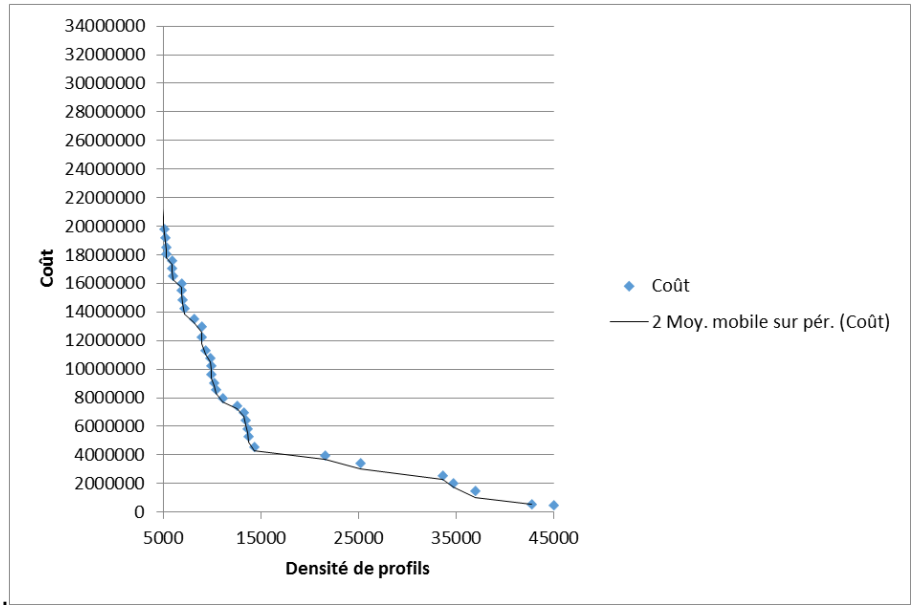


Figure 16 : Coûts d'acquisition liés à une stratégie d'établissement de secteurs de référence sur les les PRA ne disposant d'aucune carte à une échelle supérieure ou égale à 1/50 000) et ne disposant pas d'une densité minimum de profils de sol (en nombre d'hectares pour un profil).

3.4.4 Soutien aux cartographies d'échelle égale ou supérieure au 1/50000 et à la capitalisation des données

Comme la couverture du territoire à l'échelle du 1/50000ème peut être considérée comme l'objectif de référence, il nous semble nécessaire de maintenir un soutien aux initiatives locales qui s'inscriraient dans cette stratégie. Le coût d'un tel soutien, qui financerait en particulier la capitalisation des données et le respect de normes de qualité est estimé entre 50 k€ par an et 200 k€ par an selon le dynamisme des acteurs. Pour référence, on peut rappeler qu'un soutien de 50 k€ est accordé de manière récurrente chaque année pour ce type de cartographie par les fonds INRA affectés au programme IGCS.

N.B. On n'évalue pas ici le coût de mise en œuvre des méthodes cartographiques car il n'est pas un facteur de différenciation significatif du coût des scénarios techniques exposés dans la section suivante.

3.5 Les scénarios techniques retenus

Pour constituer les scénarios, nous considérons

- deux niveaux de densification des profils de sol, à savoir 1 profil pour 2000 ha ou 1 profil pour 4000 ha, qui permettront une meilleure couverture systématique de la variabilité pédologique du territoire national ;
- la mise en place de secteurs de références sur les PRA ne disposant pas actuellement de cartes pédologiques à moyenne ou grande échelle ;

- le maintien d'un soutien national aux cartographies aux échelles inférieures ou égales au 1/50000ème.

Par combinaison ou non de ces modalités, nous arrivons ainsi à 5 scénarios techniques dont les coûts de mise en œuvre peuvent être évalués grâce aux abaques précédentes et en considérant le coût moyen estimé de caractérisation d'un profil de sol. Nous y ajoutons un scénario de référence.

Scénario technique	Contenu	Objectifs	Coût total estimé
ST1	Densification des profils pour atteindre le niveau moyen des RRP sur toutes les PRA.	Cette stratégie consiste à tenter d'homogénéiser la couverture et à amener l'ensemble du territoire à une densité minimale d'un profil pour 4000 ha. On y rajoute le soutien à la capitalisation et aux initiatives de cartographie au 1/50000 à hauteur de 1M€ pour 20 ans.	**≈16M€**
ST2	Densification des profils pour atteindre le niveau supérieur des RRP sur toutes les PRA.	Cette stratégie, plus ambitieuse, vise à amener l'ensemble du territoire à une densité minimale d'un profil pour 2000 ha. On y rajoute un soutien appuyé à la capitalisation et aux initiatives de cartographie au 1/50000 à hauteur de 4M€ sur 20 ans.	**≈40M€**
ST3	Mise en place de secteurs de références dans les zones les moins bien connues	Cette stratégie, qui consiste à prioriser les actions sur les zones les moins bien connues (sur la base de l'absence de cartes à moyenne échelle et d'une densité de profils de moins d'un pour 5000 hectares) mais ne vise pas à améliorer la connaissance systématique de la couverture pédologique.	**≈20 M€.**
ST4	Combinaison de ST1 et ST3	Ce scénario combine une meilleure densité de couverture du territoire avec une connaissance détaillée des sols à haute résolution sur l'ensemble des PRA .	**≈36 M€**
ST5	Combinaison de ST2 et ST3	Ce scénario est semblable au précédent mais avec une couverture systématique encore plus dense.	**≈60 M€**
ST6	Cartographie systématique des sols équivalente à une approche à 1/50000.	Ce scénario constitue la référence car il répondrait à de nombreux besoins en connaissance des sols.	**≈250 à 300 M€**

N.B. : Les chiffres estimés correspondent aux coûts d'acquisition de données et ne prennent pas en compte les coûts de production des CSMS.

4 Les scénarios organisationnels

L'élaboration des scénarios organisationnels, présentés et évalués dans la suite, a fait l'objet d'un exercice collectif des auteurs de ce rapport selon une démarche de type « prospective ». En effet, en l'état actuel des informations disponibles et de l'incertitude des conditions économiques et juridiques relatives à la production et la diffusion des données cartographiques de sol, il nous paraît difficile de prévoir un schéma organisationnel unique et robuste pour soutenir la production et la diffusion des données de cartographie des sols en France. **Il nous a semblé préférable d'explorer plusieurs scénarios contrastés et d'évaluer leurs conséquences plutôt que de proposer un seul scénario qui pourrait s'avérer très rapidement obsolète en fonction de l'évolution du contexte socio-économique et du positionnement des différents acteurs concernés**. Un avantage de l'étude de scénarios multiples est également de pouvoir analyser les actions à mener pour :

- accompagner le développement de la cartographie des sols quel que soit le scénario qui émergerait,
- favoriser éventuellement un scénario au détriment des autres,
- recueillir les informations complémentaires nécessaires pour identifier le ou les scénarios les plus réalistes.

4.1 La démarche d'élaboration des scénarios

L'exercice de prospective a été construit selon une démarche inspirée par un exposé méthodologique initial de Patrick Aigrain de la mission prospective de FranceAgriMer. Celui-ci nous a présenté les principes de plusieurs méthodes : Delphi, méthode dite des scénarios et SYSPHAMM. Aucune ne pouvait être appliquée en tant que telle car les exercices de prospective nécessitent une durée bien supérieure à celle possible dans le cadre de cette étude. Il nous a toutefois paru possible de reprendre plusieurs éléments de démarche et d'aboutir à une élaboration de plusieurs scénarios prospectifs possibles. Les étapes que nous avons suivies sont :

- la formulation de la question à l'origine de la prospective,
- la représentation commune du système, objet de la prospective, et l'identification de variables clefs,
- la définition d'hypothèses sur les variables clefs,
- l'élaboration de scénarios par enchaînement d'hypothèses et
- l'analyse comparative stratégique des scénarios (réponse aux objectifs/ ressources/contraintes/stratégie).

On notera toutefois qu'en comparaison des démarches classiques de prospective, l'exercice mené ici est limité, en particulier par l'insuffisante pluridisciplinarité des experts (absence notamment d'experts issus des sciences économiques et sociales) et l'exploration volontairement réduite du champ des possibles (nombre d'hypothèses et de combinaisons d'hypothèses).

4.2 La question à l'origine de la scénarisation

L'objectif général de la prospective est de répondre à la question suivante.

Comment améliorer la connaissance spatialisée des sols et son appropriation par les utilisateurs afin de favoriser sa prise en compte dans les enjeux sociétaux ?

Les scénarios seront donc évalués à la fois sur leurs capacités de développement de la cartographie des sols en termes de couverture territoriale, de précision et de gamme de descripteurs des sols, mais aussi sur leurs capacités à faciliter la prise en main des données cartographiques produites par le plus grand nombre d'utilisateurs. Par contre, l'objectif de développement de services, tels que par exemple l'estimation des potentialités agricoles des sols

ou l'estimation de risque de transfert de polluants dans les sols, n'est pas inclus dans les scénarios. Il eut été difficile d'envisager dans les scénarios toute la gamme de services possibles ainsi que les modalités pour en favoriser l'émergence. De surcroît, cet objectif devrait être naturellement atteint si les conditions d'appropriation des données cartographiques par les utilisateurs sont réunies.

4.3 La représentation du système de cartographie des sols en France

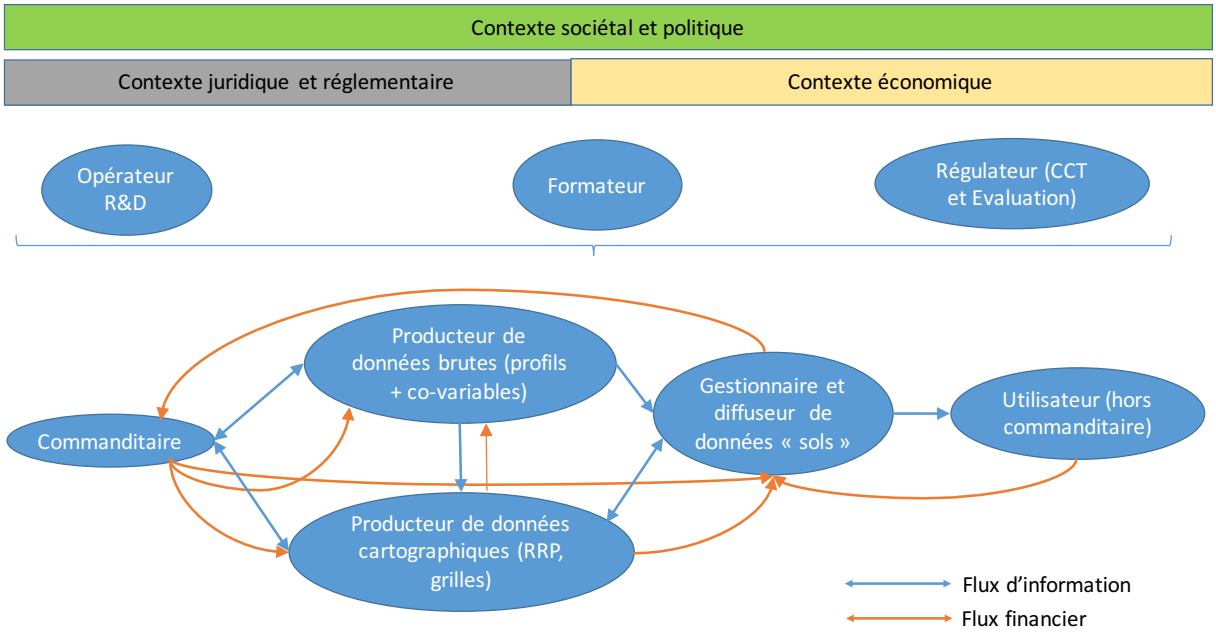


Figure 17 : Schéma organisationnel de la cartographie des sols en France. CCT= cahier des clauses techniques

La Figure 17 propose une représentation générique des échanges d'information et des flux économiques entre les acteurs principaux actuels de la cartographie des sols.

Le schéma distingue deux types de données.

- *Les données brutes* **:** Il s'agit des données ponctuelles relatives au sol, à ses propriétés ou à des covariables (e.g. altitude, roche-mère…).
- *Les données cartographiques de sol*: Il s'agit des données pédologiques (types de sol et propriétés des sols) cartographiées à partir de la connaissance des données brutes.

Le schéma différencie les acteurs suivants selon leur rôle dans l'organisation actuelle du système de cartographie des sols.

- *Commanditaire* : personne ou entité qui commande et paie un accroissement de la connaissance sol pour un objectif public ou privé. Comme exemple de commanditaire, on peut citer une entité publique, le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, qui soutient la réalisation des référentiels pédologiques, mais aussi un syndicat mixte de bassin versant qui finance la réalisation d'une étude pédologique sur l'aire de captage qu'il gère. Le commanditaire peut être utilisateur des données qu'il a commandées.
- *Producteur de données brutes* : personne ou entité chargée d'acquérir des données sols brutes par observation, analyse, proxy-télédétection et des données relatives aux covariables de sol. Un exemple est un bureau d'étude spécialisé en prospection

pédologique, mais aussi l'unité de service InfoSol quand elle mène des prospections sur des territoires donnés.

- *Producteur de cartographies* : personne ou entité mandatée pour établir des cartographies typologiques de sol ou de propriétés et indicateurs pédologiques (e.g. réserve utile du sol, indicateur de qualité des sols…). Sous cette dénomination on retrouve par exemple des bureaux d'étude de cartographie pédologique ou l'unité InfoSol qui exploitent les données brutes acquises pour réaliser des cartographies par méthode conventionnelle ou par modélisation statistique. Ce type d'acteur inclut également toute entité ou personne non spécialisée sur les sols qui a des capacités de traitement statistiques de données environnementales au sens large.
- *Gestionnaire-diffuseur* : personne ou entité mandatée pour héberger, organiser et gérer les protocoles de mise à disposition des données et cartographies pédologiques. Actuellement, cette fonction est assurée au plan national par InfoSol et au plan régional par les maitres d'ouvrage des RRP.
- *Utilisateur* : toute personne ou entité privée ou publique ayant une utilisation des données hébergées dans les Systèmes d'information pédologiques. La gamme des utilisateurs actuels et potentiels est très large (voir enquête).
- *Opérateur de R&D* : personne ou entité contribuant au développement i) des méthodologies d'acquisition de donnés pédologiques brutes et de leurs covariables et ii) des méthodologies de cartographie conventionnelles et/ ou à base de modélisation statistique. Le centre d'expertise scientifique Theia (https://www.sol-theia.org) est à ce titre un opérateur actuel de R&D.
- *Formateur* : personne ou entité assurant la formation des acteurs de la cartographie des sols à la production de données ou à leur utilisation. Ce rôle est assuré actuellement de manière diffuse par divers opérateurs, dont InfoSol, les établissements d'enseignement supérieur et quelques entités privées.
- *Régulateur* : entité régulant les opérations de cartographie des sols par la définition d'un cahier des clauses techniques (CTC) et/ou l'évaluation et la labellisation de la qualité des cartographies produites. Le conseil scientifique du programme IGCS assure cette fonction pour les référentiels pédologiques régionaux et les opérations menées dans le cadre des inventaires de Connaissance Pédologique de France à des échelles du 1/50 000ème au 1/100 000ème.

Le schéma n'affiche pas explicitement les porteurs d'enjeu et prescripteurs de la cartographie des sols (e.g. associations, ONG, commission européenne…). Ils sont de fait pris en compte dans les encadrés relatifs aux contextes socio-politiques, juridiques et économiques qui influencent les acteurs. On notera aussi qu'une même personne ou entité peut assumer simultanément plusieurs rôles, comme par exemple commanditaire et utilisateur.

Les flux d'informations entre les acteurs sont souvent réciproques. Ainsi, lors d'une opération de cartographie, le gestionnaire-diffuseur de données reçoit des informations de la part des producteurs de données brutes et cartographiées mais fournit également le cas échéant des données (issues de prospection antérieures ou relatives à des covariables) au producteur de cartographie pour compléter les données brutes acquises. Le commanditaire fournit des cahiers des charges à suivre aux producteurs mais peut ensuite récupérer directement les données produites sans recourir aux services d'un gestionnaire-diffuseur de données.

Les flux financiers sont également divers. Ce sont en principe les commanditaires et utilisateurs des données brutes et cartographiques qui sont à l'origine des flux majeurs. Mais on peut envisager dans certains cas que les producteurs de cartographie rétribuent directement les producteurs de données brutes et que le gestionnaire de données rétribue le commanditaire initial des jeux de données proposés à la diffusion.

4.4 Les hypothèses relatives aux composantes du système

Selon la démarche exposée précédemment, la construction de scénarios est précédée de la formulation d'hypothèses, de préférence contrastées, au sujet des composantes et variables du système. Voici, dans la Figure 18 et puis dans le détail, les différentes hypothèses débattues et formalisées par les auteurs du rapport et de la prospective. Elles correspondent à l'état de la réflexion à un instant donné. Sans aucun doute, d'autres séances de réflexion auraient amené des modifications en termes de nombre et modalités des hypothèses, de même que tout lecteur pourra avoir une appréciation différente des hypothèses déterminantes. C'est une des limites de cet exercice de prospective puisque la formulation des hypothèses ne relève que de la mise en commun des seuls experts impliqués. Néanmoins il nous semble que les hypothèses proposées fournissent une capacité significative d'analyse du champ des possibles pour le développement de la cartographie des sols.

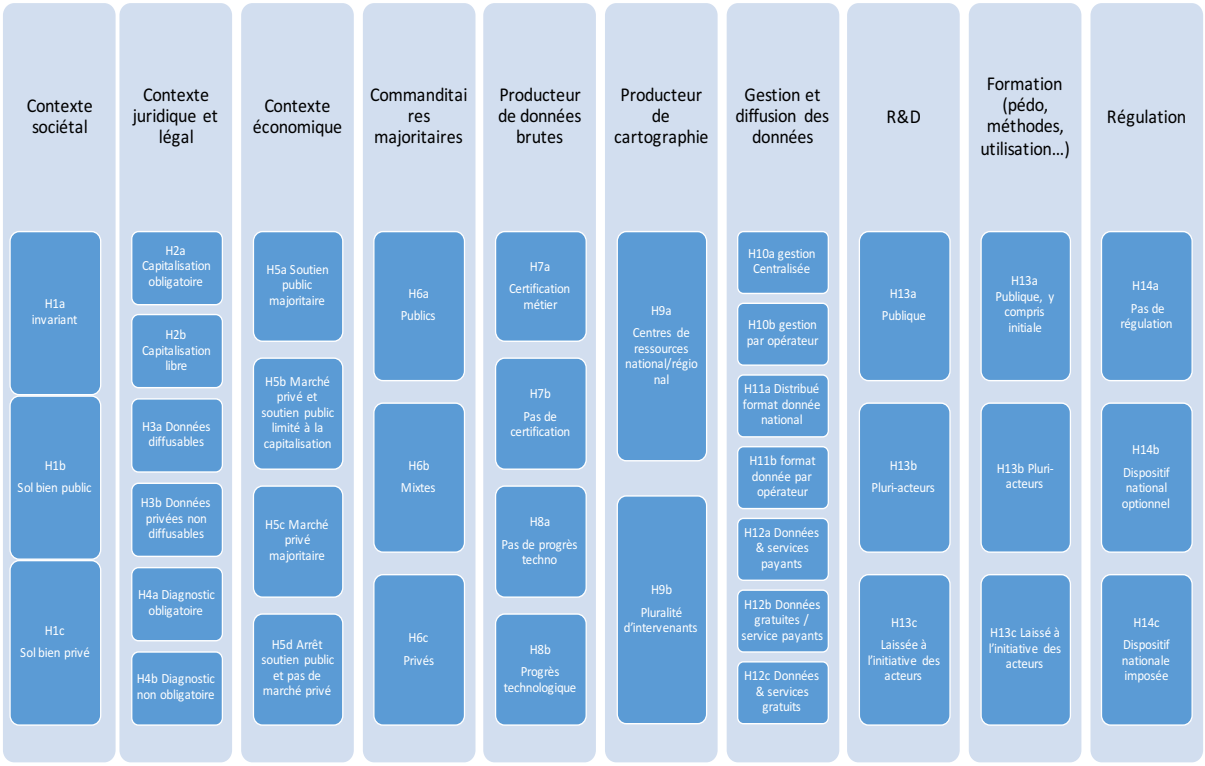


Figure 18 : Tableau des hypothèses possibles jugées déterminantes pour le développement de la cartographie des sols.

➢ **Contexte sociétal :**

On distingue ici trois cas majeurs selon le degré de prise de conscience de la société de l'importance du sol comme bien collectif à préserver de générations en générations.

> *H1a : le contexte actuel perdure, à savoir les pouvoirs publics se préoccupent de la connaissance et de la préservation des sols mais ne mettent pas en place de politiques publiques fortes à cet égard.*
>
> *H1b : le sol est considéré comme relevant du patrimoine collectif et fait l'objet de politiques publiques fortes pour sa connaissance et sa préservation.*
>
> *H1c : Le sol est considéré comme un patrimoine exclusivement privé et sa connaissance et préservation sont un enjeu d'abord individuel.*

➢ **Contexte juridique et légal**

Sur la base des questionnements juridiques en cours et de possibilités d'évolutions des jurisprudences, trois types d'hypothèses sont formulées.

- Hypothèses relatives à la capitalisation.

H2a : capitalisation obligatoire des données acquises suite à obligations légales ou à opérations conduites sur fonds publics (e.g. diagnostic zones humides, captages).

H2b : pas de capitalisation obligatoire.

- Hypothèses relatives à la diffusion des données

H3a : Loi et/ou jurisprudence affirment que les données sols acquises sur fonds publics sont en partie ou totalement à diffusion libre du fait de leur intérêt public.

H3b : La jurisprudence confirme le caractère non diffusable des données ponctuelles sol avec leurs coordonnées X Y dans le domaine privé (intérêt privé est supérieur à intérêt public).

- Hypothèses relatives à l'acquisition des données :

H4a : obligation de diagnostic des sols et inscription dans bases de données nationales, par exemple lors de changement d'affectation et/ou de propriétaire des terrains ou du fait d'une conditionnalité des aides PAC à un suivi de la qualité des sols (déjà en cours au Luxembourg tous les 5 ans).

H4b : pas d'obligation de diagnostic.

➢ **Contexte économique :**

Les différentes hypothèses portent ici sur le mode majoritaire de soutien financier des opérations de cartographies.

H5a : Développement de la connaissance sol (acquisition de nouvelles données, cartographies pédologiques, capitalisation et diffusion des données) soutenue majoritairement par fonds publics.

H5b : Poursuite d'un soutien public pour la capitalisation des données sol et développement d'un marché des données sol.

H5c : Développement d'un marché privé majoritaire pour l'acquisition et l'exploitation de données sol.

H5d : Arrêt du soutien public et absence de développement d'un marché privé.

N.B. on ne fait pas d'hypothèse sur les mécanismes de valorisation des données sol

➢ **Commanditaires**

Les hypothèses sont ici sur la nature du commanditaire majoritaire car cela a une incidence sur le caractère public ou privé des données.

H6a : Publics / Europe, ministères, agences, instituts, collectivités territoriales. Données acquises sont publiques.

H6b : Semi-publics / chambres agriculture, EPICs, instituts techniques. Données acquises peuvent être publiques selon cadre de financement et volonté du commanditaire.

H6c : Privés / industriels, bureaux d'études, coopératives. Données acquises privées.

➢ **Producteurs de données brutes**

Deux types d'hypothèses sont émises.

- Les hypothèses relatives à la compétence des producteurs. En effet, si actuellement les producteurs de données pédologiques présentent pour la plupart une expertise

pédologique forte, il est possible que cela ne soit plus le cas dans le futur soit par manque de renouvellement de l'expertise soit par des besoins de production en augmentation et dépassant les capacités de réalisation des experts en activités.

H7a : prospection pédologique confiée à des agents avec expertise pédologique.

H7b : prospection pédologique confiée à agents sans expertise pédologique spécifique.

- Les hypothèses sur l'évolution des technologies utilisées.

H8a : Technologie constante avec coûts stables.

H8b : Technologie en progrès avec coûts fortement décroissants.

➢ **Producteurs de cartographies**

Les hypothèses comparent la poursuite du mode de production actuel, qui est relativement centralisé en raison de la faible disponibilité d'expertise pédologique, et une évolution vers une augmentation du nombre d'intervenants, devenue possible par le développement des méthodes de cartographie à bases statistiques.

H9a : Centres de ressources national ou régionaux.

H9b : Pluralité d'intervenants publics et privés.

➢ **Gestionnaires et diffuseurs données**

Les hypothèses portent ici sur les modes futurs d'organisation et de diffusion des données pédologiques.

- Hypothèses d'organisation

H10a : Centralisée nationale ou régionale, publique ou privée.

H10b : Eclatée entre public et privé.

- Hypothèses de format de diffusion

H11a : Format commun au plan national.

H11b : Format variable selon le gestionnaire.

- Hypothèses sur le paiement du service rendu

H12a : traitement et données payantes.

H12b : Données gratuites et traitement payant.

H12c : traitement et données gratuits.

➢ **Utilisateurs**

Aucune hypothèse n'est émise au sujet des utilisateurs et des utilisations car conformément à l'objectif commun à tous les scénarios il est souhaité que le nombre et la diversité des utilisateurs de données sol soient les plus grands possibles.

➢ **R&D**

Les hypothèses portent sur la nature des opérateurs de la R&D .

H13a : R&D assurée par dispositif public (instituts de recherche, universités, service IRD Chambres régionales d'Agriculture) qui centralise et diffuse.

H13b : R&D pluri-acteurs public et privé en réseau.

H13c : R&D laissé à l'initiative des acteurs du marché avec création de valeur marchande privée.

➢ **Formation (pédologie, méthodes cartographiques, gestion Système information, valorisation)**

C'est ici également la nature des opérateurs qui différencie les hypothèses.

H14a : formation assurée par dispositif public (instituts de recherche, universités, Chambres régionales d'Agriculture…) qui centralise et diffuse les contenus de formation y compris en formation initiale.

H14b : formation assurée de manière plurielle par acteurs public et privé en réseau.

H14c : formation laissée à l'initiative des acteurs du marché avec création de valeur marchande privée.

- **Régulation (CCT, évaluation de qualité)**

Trois modalités sont envisagées pour la régulation selon un degré de libéralisme décroissant.

H15a : Absence complète de régulation : les cartes sont produites selon des spécifications choisies librement par les producteurs et leur qualité est laissée à la seule appréciation des utilisateurs.

H15b : Mise en place de dispositifs nationaux ou régionaux optionnels de régulation avec procédure de labellisation accessible aux producteurs selon leur choix.

H15c : Mise en place de dispositifs nationaux ou régionaux de régulation avec évaluation obligatoire de la qualité des cartes produites.

4.5 Les quatre scénarios choisis

4.5.1 Principes d'élaboration

Dans le cas de la méthode SYSPHAMM, c'est l'analyse de la matrice des relations entre hypothèses qui permet de faire émerger des micro-scénarios en regroupant les hypothèses les plus liées, puis d'agréger les micro-scénarios en scénarios complets. Il ne nous était pas possible de procéder ainsi malgré l'intérêt de la diversité de scénarios que peut procurer une telle approche. En effet, le temps restreint dévolu à l'exercice de prospective ne le permettait pas. Nous avons donc choisi de définir *a priori* un nombre limité de scénarios en partant des trois hypothèses de contexte sociétal (voir H1a à H1c), puis en agrégeant les hypothèses qui sont en cohérence avec les précédentes. Trois scénarios contrastés ont ainsi été formulés auxquels nous avons rajouté un scénario intermédiaire atténuant les partis pris des deux scénarios extrêmes. Quatre scénarios organisationnels sont donc présentés et évalués dans la suite. Ils sont chacun associés à un scénario technique (voir 3.4):

Scénario organisationnel 1 (**SO1**) : scénario dit « **Neutre** ». On suppose que rien ne change dans l'organisation actuelle de la cartographie des sols. Il est associé au **scénario technique ST4** qui a pour objectif d'homogénéiser la densité d'observation de la couverture pédologique au plan national et de compléter l'analyse détaillée des motifs pédologiques dans les petites régions agricoles.
Scénario organisationnel 2 (**SO2**) : scénario dit « **Tous pour le sol et le sol pour tous** ». Des politiques publiques nouvelles et fortes sont mises en place pour soutenir le développement de la connaissance des sols et sa prise en compte dans les enjeux sociétaux mais l'initiative privée est également favorisée. Il est associé au **scénario technique ST5** qui a pour objectif d'améliorer et homogénéiser la densité d'observation de la couverture pédologique au plan national, de compléter l'analyse détaillée des motifs pédologiques dans les petites régions agricoles et d'apporter un soutien accru à la capitalisation des études pédologiques locales.
Scénario organisationnel 3 (**SO3**) : scénario dit « **Chacun son sol** ». Aucune politique publique nouvelle n'est définie pour la connaissance et la prise en compte du sol dans les enjeux sociétaux, seule l'initiative privée est favorisée. On fait l'hypothèse que l'initiative privée aboutira à la réalisation du **scénario technique ST3** qui vise seulement à compléter l'analyse détaillée des motifs pédologiques dans les petites régions agricoles où on ne dispose d'aucune connaissance des sols à haute résolution.
Scénario organisationnel 4 (**SO4**) : scénario dit « **Chacun son sol mais avec régulation publique** ». Aucune politique publique nouvelle n'est définie pour la connaissance et la prise en compte du sol dans les enjeux sociétaux, seule l'initiative privée est favorisée mais avec une régulation publique destinée à assurer la transparence et la qualité des opérations de cartographie ainsi que le maintien de possibilités de capitalisation des données nouvelles acquises. On l'associe pour les mêmes raisons que dans SO3 au **scénario technique ST3** qui vise seulement à compléter l'analyse détaillée des motifs pédologiques dans les petites régions agricoles.

Les scénarios sont décrits ci-après selon leurs hypothèses et un synopsis décrivant le contexte supposé qui les justifient.

4.5.2 Scénario SO1 dit « Neutre »

Le synopsis du SO1

- **La ressource en sol ne constitue pas une priorité du même ordre que d'autres ressources comme l'eau** pour la société et les pouvoirs publics. Néanmoins, sa connaissance est reconnue comme un pré-requis nécessaire par certains décideurs pour gérer quelques enjeux sociétaux bien médiatisés (protection des aires de captage, protection des terres agricoles contre l'urbanisation, devenir de la forêt sous changement climatique, gestion des déchets.). En l'absence d'action spécifique des pouvoirs publics, aucune évolution du contexte juridique concernant les sols n'est impulsée. L'opportunité et le mode de diffusion des données de sol sont donc laissés à l'appréciation des détenteurs de ces données qui décident selon leur intérêt et selon leur connaissance du contexte juridique et du risque associé.
- **Les études de sol sont majoritairement financées en région par des fonds publics** de différentes origines (programmes Européens, Agences de l'eau, collectivités territoriales…), en fonction des enjeux perçus localement et sectoriellement. Le ministère de l'agriculture continue d'abonder à la connaissance des sols nationale par une enveloppe budgétaire limitée mais reconduite chaque année. Ceci permet de compenser à la marge les inégalités de progressions des études pédologiques sur le territoire national et de développer une régulation sous forme de cahier des charges type et de procédures de labellisation. Cependant, compte tenu des faibles moyens alloués, l'application de cette régulation aux études pédologiques réalisées reste incomplète.
- **Les études pédologiques restent majoritairement à l'initiative de commanditaires publics mais des commanditaires privés existent également**, convaincus de l'importance de connaître le sol pour leurs zones d'intérêt propre (coopératives, agro-industries, industries de l'environnement et du traitement des déchets…).
- Les financements étant en majorité publics, **les commanditaires sont tenus de respecter des bonnes pratiques de gestion**. Ils mettent en place un contrôle de la qualité des études pédologiques au travers de cahiers des charges explicites, souvent inspirés de ceux élaborés à l'échelle nationale, et d'un comité de pilotage. Cette régulation locale permet de maintenir les experts pédologues comme acteurs majeurs du recueil des données pédologiques, les entreprises qui exploitent et vendent les progrès technologiques en matière de proxy et télédétection des sols pénétrant moins ce marché que celui des commanditaires privés d'études de sol. Il y a peu de synergie entre les deux types d'acteurs.
- Le choix des producteurs de cartographie par les commanditaires suit la même logique. **La CSMS étant désormais maîtrisée par une grande diversité de chargés d'étude, une grande diversité de situations apparaissent**. Quelques pédologues, ayant ajouté la CSMS à la palette de leurs compétences, complètent leur prestation par ces nouvelles techniques cartographiques, modernisant ainsi l'activité de pédologue cartographe. A l'autre extrême, des CSMS sont produites par des spécialistes en SIG et statistiques que les commanditaires font intervenir en complément des pédologues. Un moyen terme concerne des bureaux d'études où les deux compétences sont présentes et travaillent en synergie pour produire la cartographie.
- **Les données sols, collectées grâce aux financements du ministère de l'agriculture et d'autres commanditaires publics d'études pédologiques, sont capitalisées et diffusées librement au niveau national (GISSOL) ou régional (IDG Régional, CRA, …)**. La réutilisation des données acquises localement pour des études sur des étendues plus grandes intéressant des collectivités (région, état) est appliquée au coup par coup. Cependant, une partie significative des données sols ne peut faire l'objet d'une diffusion libre, soit parce que la législation interdit et/ou n'impose pas aux commanditaires la cession des données (notamment les profils ponctuels), soit parce qu'une régulation insuffisante n'a pas assuré une homogénéité de qualité et de format de toutes les données. Ceci est identifié par des diffuseurs privés de données géographiques qui ciblent sur des territoires où une agriculture dynamique ou une concentration urbaine importante laissent espérer un marché actif des études de sol. Au final, l'utilisateur potentiel de données sol se trouve à devoir choisir entre des offres dont les modalités sont très variables d'un lieu à l'autre et souvent complexes à analyser.
- La puissance publique reconnaissant l'intérêt de la connaissance des sols pour résoudre certains problèmes sociétaux maintient **une R&D active dans la recherche et l'enseignement supérieur publics**. Les chercheurs et ingénieurs de ces structures restent actifs dans l'amélioration des méthodologies de CSMS, dans la production de cartographies à l'échelle nationale (Infosol) et dans les comités de pilotage du programme de cartographie du ministère de l'agriculture. Leur action aux échelles plus locales reste cependant limitée en l'absence de relais efficaces et actifs.
- De nombreuses formations dans le domaine de l'agronomie, de la forêt, de l'environnement et de l'aménagement urbain intègrent des enseignements théoriques et pratiques sur les sols. Cependant, **le sol ne trouve pas une place à part entière dans l'enseignement supérieur**, ce qui ne favorise pas le renouvellement de pédologues ayant une vision « généraliste » du sol. Des formations courtes sur les technologies d'acquisition de données sol et sur les méthodes de CSMS, éventuellement basés sur des produits pédagogiques fournis par la R&D publique, sont aussi pratiquées dans le cadre de dispositifs de formation continue.

Ce scénario qui poursuit la situation actuelle est basé sur les hypothèses suivantes (voir résumé en Figure 19).

- Un contexte juridique qui reste complexe pour les raisons évoquées dans la section 2.4 et ne permet pas en l'état une diffusion simple des données sol ponctuelles géoréférencées privées.
- Un contexte économique de la production de cartographie des sols marqué par un soutien majoritaire par des fonds publics issus de l'Etat, des collectivités territoriales ou établissements publics.
- Des commanditaires essentiellement publics en relation avec les soutiens publics mais également des commanditaires privés (Groupements de producteurs, syndicats viticoles, coopératives, agro-industries, industries de l'environnement et du traitement des déchets…).
- Les producteurs de données brutes qui restent en grande majorité des experts pédologues. Cette hypothèse implique que la génération actuelle d'experts soit maintenue, voire augmentée, au plan numérique.
- Des progrès technologiques attendus notamment en raison du développement déjà en cours des méthodes de proxy-détection et des fonctions de pédo-transfert[9].
- Des producteurs de cartographie diversifiés, comprenant à la fois les experts pédologues producteurs de données brutes qui en font l'interprétation au plan cartographique et des experts en modélisation statistique en cours d'émergence. Ces derniers peuvent être des experts pédologues se formant aux approches statistiques mais aussi des experts du traitement de l'information géolocalisée. Dans le deuxième cas le risque existe d'une absence de vérification-validation des cartographies produites si l'expert en traitement géographique n'est pas assisté par un expert pédologue.
- Une gestion des données assurée majoritairement au plan national au travers du SI Sol du GIS Sol avec un format de donnée commun Donesol. Toutefois du fait de droits d'exploitation des données variables selon l'origine des données et d'opérateurs régionaux ayant des stratégies différentes, l'accès aux données et aux services les accompagnant peut revêtir des formes diverses selon les régions, gratuites et/ou payantes.
- La R&D en matière de cartographie des sols assurée essentiellement par des acteurs publics, issus essentiellement de la recherche et de l'enseignement supérieur. Depuis 2016, la R&D relative aux méthodologies de CSMS est fédérée par le CES Theia; mais se pose toutefois la question de la poursuite de son activité au-delà de 2018, terme actuel prévu à son existence.
- Une formation pluri-acteurs impliquant à la fois des acteurs publics (enseignement supérieur et recherche) et des acteurs semi-publics et privés (les instituts techniques par exemple)
- Une régulation mixte : imposition d'un cahier des clauses techniques pour les opérations de cartographie à commanditaire public et à intérêt d'ordre national et optionnel pour les autres opérations. Il est supposé que se développe un CCT pour les cartographies à base de modélisation statistique ainsi qu'une procédure de labellisation ad hoc à l'image de ce qui existe pour les RRP.

[9] Les fonctions de pédo-transfert sont des fonctions mathématiques de nature empirique ou théorique qui permettent d'estimer la valeur de variables pédologiques difficiles à mesurer à partir de variables pédologiques et environnementales de base, aisées d'accès.

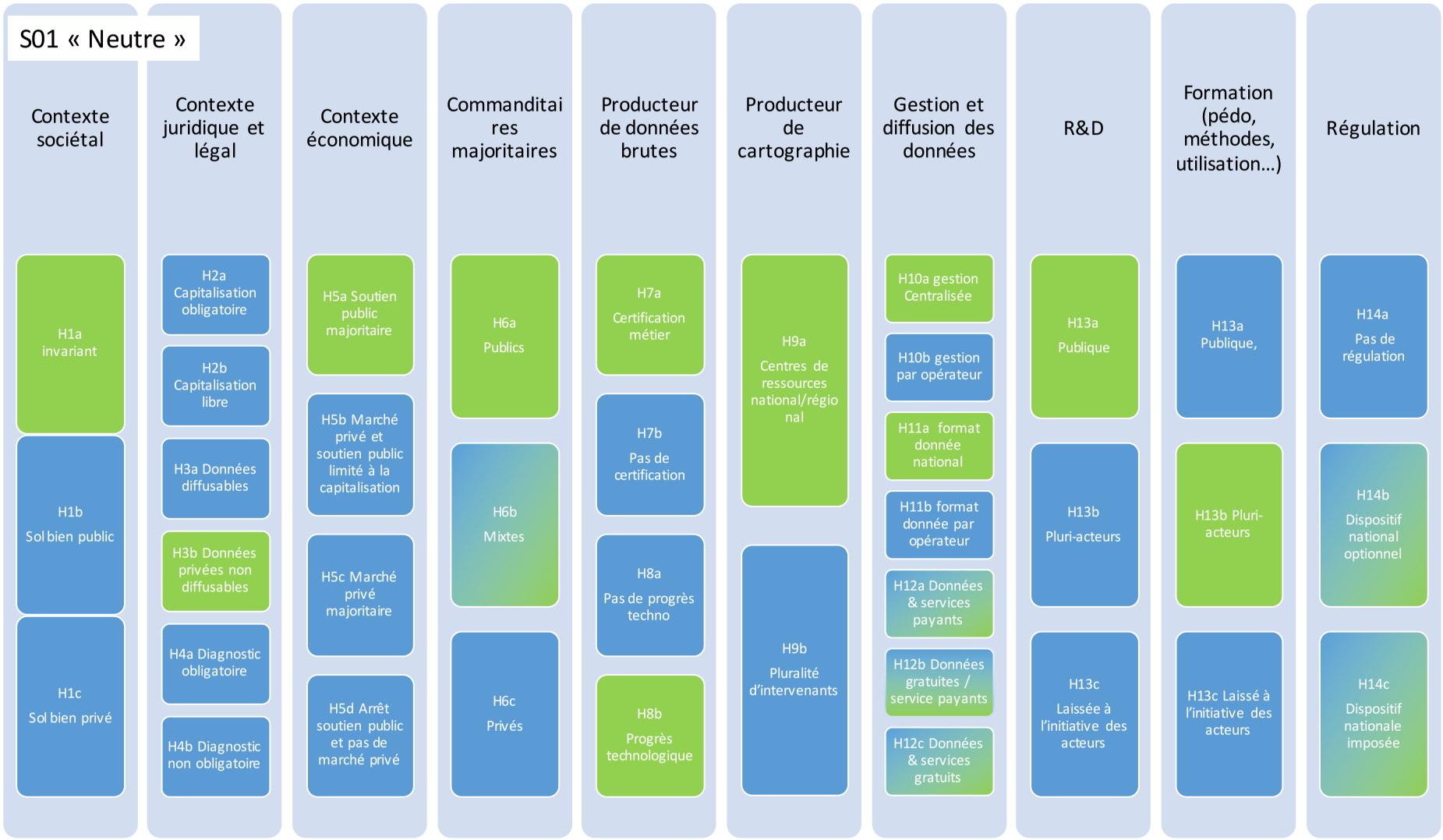


Figure 19 : Hypothèses retenues (en vert) pour le scénario S01 « Neutre »

4.5.3 Scénario SO2 dit « Tous pour le sol et le sol pour tous »

Le synopsis du SO2

- Suite à des évènements médiatisés mettant en avant le rôle du sol et questionnant sa connaissance (controverse sur le zonage des zones défavorisées simples, crues catastrophiques, fermetures de captage d'eau potable, ZAD contre de grands projets d'urbanisation), **le sol devient une priorité pour les décideurs nationaux et européens. Le projet de directive sur les sols est relancé et voté**. Les états membres sont invités à décliner des mesures visant à la protection des sols. **En France une loi est votée** qui reconnaît le sol comme un bien public que la société a le devoir de protéger pour qu'il continue à assurer des services reconnus importants pour la collectivité (sécurité alimentaire, protection des aquifères, régulation des crues, stockage de carbone ….). **Cette loi contient les dispositions suivantes** :
  - **Le principe d'études pédologiques préalables obligatoires à tout projet d'aménagement** du territoire, déjà en vigueur pour l'épandage des déchets, est généralisé. Il est stipulé que ces études devront se conformer à des cahiers des charges promulgués à l'échelle nationale et feront l'objet d'un label attestant de leur qualité
  - **La caractérisation du sol devient un élément obligatoire des diagnostics règlementaires** lors d'un changement d'affectation du sol ou de propriétaire (analogie avec la loi en vigueur au Luxembourg)
  - **Le principe de capitalisation des données sol dans une base de données nationale selon un format normalisé est affirmé**. Le contexte juridique concernant les données sol est modifié en conséquence. Il établit la pré-éminence de la nature d'intérêt public de ces données sur leur caractère confidentiel, ce qui permet de transférer les données sols, même ponctuelles, vers une base de données nationale. Ce transfert est une obligation contractuelle pour toute étude financée sur fond public. Le transfert des données de sol financée sur fonds privé dans la base de données nationale reste à l'appréciation du commanditaire.
- Des formations supérieures en pédologie appliquée (Master) avec une composante de formation continue est instaurée et est déclinée dans plusieurs établissements d'enseignement supérieur répartis sur le territoire. Une valorisation des acquis par l'expérience est aussi mise en place pour **certifier les pédologues** déjà en exercice.
- **Des fonds publics importants sont dégagés à l'échelle nationale pour densifier les profils nécessaires à une couverture correcte et homogène du territoire**. Les études pédologiques plus précises que le 1/250 000 (1/50 000, secteurs de référence) réalisées à l'initiative de commanditaires publics sont également soutenues financièrement. **Une régulation des études pédologiques est financée pour s'assurer de la qualité des études pédologiques réalisées en France**. Elle comprend l'élaboration de cahiers des charges (incluant un format d'échange et de diffusion normalisé) ainsi que l'emploi de pilotes scientifiques, spécialistes reconnus en pédologie et cartographie des sols, présents en régions et garants de la qualité des études et apte à les labelliser. Les commanditaires sont essentiellement publics mais la demande sociétale incite aussi des organismes privés à investir dans la connaissance des sols.
- **Les commanditaires établissent leur cahier des charges en référence aux cahiers des charges promulgués au plan national** en les adaptant au besoin avec l'appui des pédologues régionaux. **Les producteurs de données brutes sont choisis sur la base d'un niveau de compétence minimum en pédologie appréciée par certification**. Si les chargés d'étude candidats sont des entreprises qui exploitent et vendent les progrès technologiques en matière de proxy et télédétection des sols, il leur est demandé d'associer à leur étude une expertise pédologique certifiée pour replacer les mesures effectuées dans une approche plus globale de la couverture pédologique.
- Le choix des producteurs de cartographie suit la même logique. La CSMS étant désormais maîtrisée par une grande diversité de chargés d'étude, les cartographies de sol sont produites potentiellement par une large gamme d'opérateurs qui peuvent être non pédologues. Cependant, dans le cadre de procédures de labellisation, sont mises en place des évaluations quantitatives des cartes ainsi que des contrôles de cohérence avec la connaissance pédologique a priori des zones d'études. Ceci a pour effet de favoriser la participation d'experts pédologues aux cartographies réalisées afin de limiter au maximum la production de cartes « aberrantes ». Au final, **toutes les études financées sur fond public sont labellisées sous le contrôle d'un organisme ad hoc pouvant avoir des délégués régionaux**. Le service de labellisation se développe également auprès des commanditaires privés qui peuvent le solliciter à titre gratuit pour sécuriser leur maîtrise d'ouvrage.
- **Les données sols, collectées selon un format normalisé et un contrôle de qualité, sont stockées dans une base de données nationale gérée par un centre de ressource**. Des déclinaisons de ces bases en région sont réalisées pour organiser leur enrichissement sous le contrôle du pédologue régional, favoriser l'animation autour de ces bases et susciter l'émergence de services utilisant les données. D'une part des cartes de types de sol et de propriétés de sol sont produites régulièrement sur le territoire national et les territoires régionaux et sont réactualisés au fur et à mesure de l'enrichissement de la base de données sol. D'autre part, la base de données délivre à de nouveaux commanditaires privés les informations sol dont elle dispose afin de les réutiliser sur les nouvelles zones d'étude. Au besoin, des contrats peuvent être passés avec le commanditaire privé pour que soient rétrocédées à la base de nouvelles données pédologiques produites en échange des données mises à disposition.

L'état finance un programme de R&D important ouvert aux établissements de recherche et d'enseignement public et aux entreprises du secteurs. Ce programme vise à améliorer les techniques d'acquisition des données sols (proxy et télédétection), développer de nouvelles techniques de CSMS adapté à la diversité des données sols collectées et développer des prototypes de services autour des données sol. Le nombre d'experts dans le domaine augmente et permet d'appuyer les pédologues régionaux au sujet de questions spécifiques de mise en œuvre d'études pédologiques

Ce scénario qui suppose un investissement fort des pouvoirs publics est basé sur les hypothèses suivantes (voir résumé en Figure 20).

- Un contexte sociétal favorable au sol, considéré comme un bien public, ce qui implique que des dispositions politiques nouvelles et fortes sont prises pour accroitre la connaissance des sols et maintenir voire améliorer leur qualité. Des structures privées bénéficient de ce contexte et deviennent des acteurs importants.
- Un contexte juridique qui oblige l'inscription, dans les bases de données nationales, des données sols acquises sur fonds publics ou dans le cadre de diagnostics réglementaires. Cela facilitera leur mobilisation et réutilisation ultérieure, les freins juridiques à la diffusion des données sur les sols étant levés. La capitalisation est une condition nécessaire i) à l'octroi de financement publics pour acquérir de l'information sur les sols ; ii) lors de la réalisation de diagnostics réglementaires (e.g. changement d'affectation et/ou de propriétaire des terrains) ; iii) au versement des aides PAC, conditionnées à un suivi de la qualité des sols.
- Il n'y a pas d'obligation de capitalisation des données acquises sur fonds privés mais un soutien public est accordé pour la capitalisation des données privées.
- Les commanditaires sont des organismes publics et privés. Les deux catégories d'organismes travaillent en synergie, la demande sociétale importante poussant les organismes privés à investir de façon croissante dans la connaissance des sols.
- Les producteurs de données brutes sont des experts pédologues, certifiés, issus tant du domaine public que du privé. Cette hypothèse implique que le nombre d'experts soit augmenté, et qu'une procédure de certification soit officialisée et reconnue (cf hydrogéologues).
- Des progrès technologiques majeurs sont réalisés sous l'impulsion de la société, des pouvoirs publics et du secteur privé.
- La production cartographique est très structurée et les producteurs issus de domaines variés sont regroupés au sein de centres de ressources régionaux constituant un réseau national. Des pédologues, qu'ils viennent du secteur public ou privé, travaillent de concert avec des spécialistes de traitement de données spatiales.
- Une gestion des données sol centralisée, bénéficiant d'un format de données national (DoneSol) renforcé et légitimé par le contexte juridique en ce qui concerne les données acquises au moins en partie sur des fonds publics. Une gestion par opérateur des données privés reste possible.
- Une diffusion des données large, basée sur l'obligation de mettre à disposition les données publiques et leur gratuité, les services (expertise, traitement) associés pouvant être gratuits (s'ils sont réalisés en routine ou automatisés) ou payants (s'ils nécessitent des développements spécifiques ou s'ils permettent de mettre en place un modèle économique viable). Des données et des services payants seront par ailleurs proposés par les structures privées, qui pourraient aller jusqu'à concurrencer les portails publics de diffusion des données. Le marché est ouvert.
- La R&D en matière de cartographie des sols est assurée à la fois par des acteurs publics, issus essentiellement de la recherche et de l'enseignement supérieur, mais aussi les acteurs privés. Des moyens financiers et humains sont mutualisés pour une recherche en synergie, efficace et innovante.
- La formation tant initiale que continue est assurée par une pluralité d'acteurs, tant publics que privés. De nouvelles formations initiales de niveau master sont créées et la reconnaissance du métier de pédologue implique de déploiement de formations diplômantes ou certifiantes de professionnels.
- Pour répondre au contexte juridique et légal fort et assurer la qualité des données produites, des dispositifs de régulation sont mis en place par un consortium national et utilisés par la plupart des commanditaires, de façon obligation en ce qui concerne les données publiques, et incitative concernant les données privées. Les outils de régulation sont par exemple des cahiers des charges ou procédures de labellisation des informations produites et délivrées.

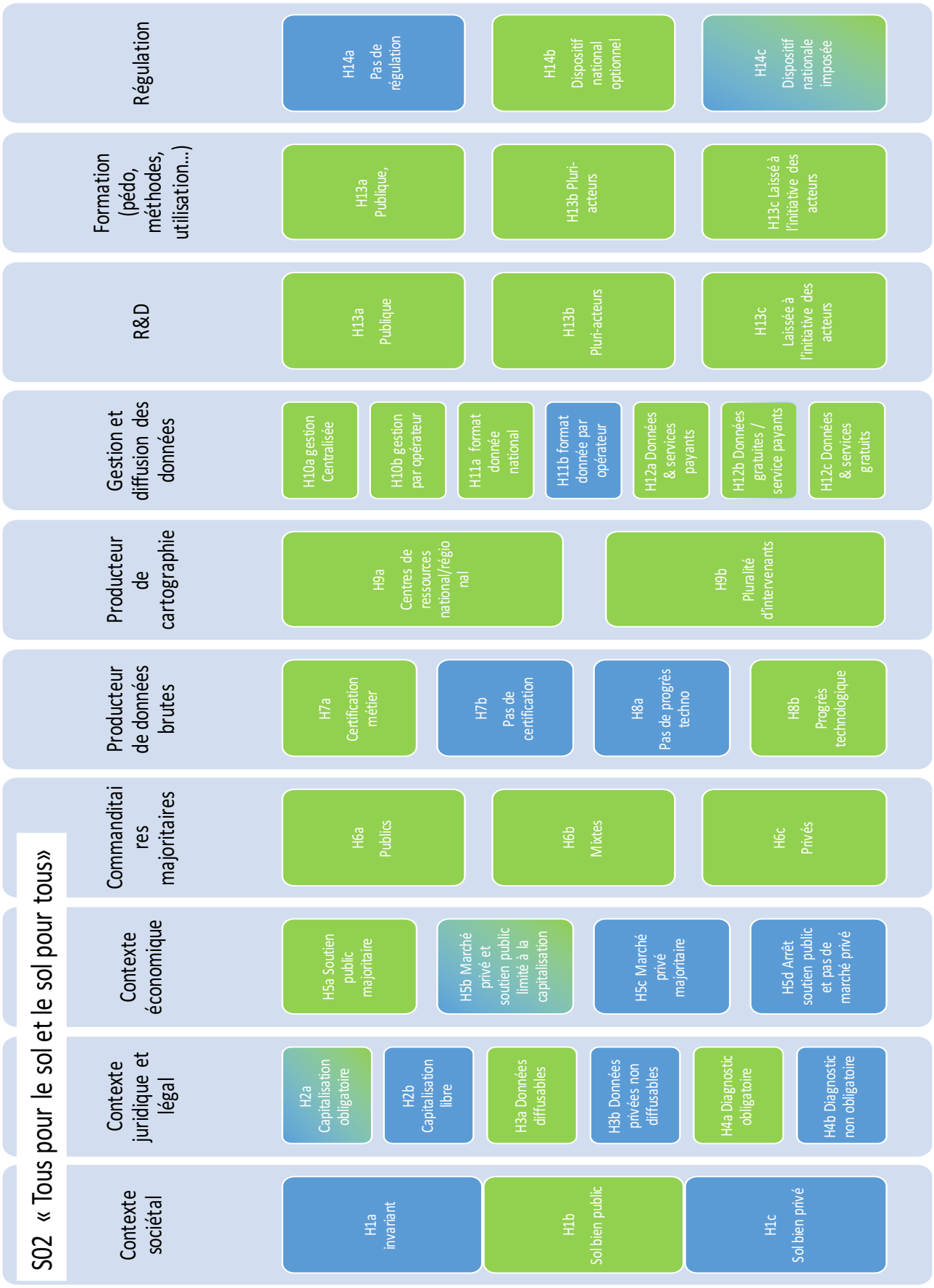


Figure 20 : Hypothèses retenues (en vert) pour le scénario S02 « Tous pour le sol et le sol pour tous ».

4.5.4 Scénario SO3 dit « Chacun son sol »

Le synopsis du SO3

- **L'absence d'implication de la société vis à vis du sol n'incite pas l'Etat à investir dans l'amélioration de la connaissance pédologique**. Aucune évolution du contexte juridique n'est impulsée. A l'inverse, des jugements sur des conflits concernant la diffusion de données sol géo-localisées établissent la pré-éminence du caractère confidentiel de ces données sur leur nature d'intérêt public, limitant ainsi leur circulation.

- **Une série d'arbitrages budgétaires défavorables aux niveaux européen et national amenuise peu à peu la contribution publique aux études pédologiques**. La puissance publique n'arrive pas à imposer la nécessité d'études pédologiques préalables aux opérations d'aménagement du territoire. Le financement de ces études est laissé à l'initiative privée.
- Les commanditaires publics deviennent de moins en moins présents et **les commanditaires privés (groupements de producteurs, coopératives, agro-industries, industries de l'environnement et du traitement des déchets) deviennent prépondérants**.

- **Les commanditaires établissent leur cahier des charges et choisissent des producteurs de données brutes sans référence à des normes établies par une instance de régulation**, le principe du moins disant étant en général suivi. Il s'ensuit une grande variété d'étude où les pédologues sont en concurrence directe avec des entreprises qui exploitent et vendent les progrès technologiques en matière de proxy et télédétection des sols. Ces entreprises arrivent à imposer à des commanditaires, souvent non experts en sol, des objectifs de cartographie limités à leur possibilité d'investigation.

- Le choix des producteurs de cartographie suit la même logique. **La CSMS étant désormais maîtrisée par une grande diversité de chargés d'étude, les cartographies de sol sont produites par une large gamme d'opérateurs**. Notamment, des spécialistes en géomatique et statistiques spatiales s'approprient la CSMS plus facilement que les pédologues qui restent à la traine en l'absence de formations spécifiques. C'est au pédologue de faire valoir, dans ses négociations avec les opérateurs, la valeur ajoutée que représente la connaissance a priori des sols.

- **La capitalisation et la diffusion, par des opérateurs régionaux ou nationaux, (IDG régionales, Geoportail IGN) des données sol se limite aux données déjà collectées avant les années 2010**. Devant le caractère privé du sol, le principe de réutilisation des données acquises localement pour des études sur des étendues plus grandes intéressant des collectivités (région, état) ne s'impose pas. Les commanditaires conservent leurs données en s'appuyant sur la jurisprudence et, au mieux, les gèrent en interne. **La qualité variable des données, non garantie par un cahier des charges et une labellisation des études**, ainsi que la disparité des méthodes d'acquisition et des formats de données imposant une harmonisation complexe, **freinent la diffusion des données sol**. Le marché des données pédologiques reste embryonnaire et les grands opérateurs privés de la diffusion des données, s'intéressent peu à ces données que peu de clients leur demande.

- **La baisse des fonds publics pour le sol touche également le recrutement de chercheurs et d'ingénieurs dans les établissements publics autrefois chargés de la R&D dans le domaine**. Cette R&D se déplace vers de petites structures privées qui exploitent les opportunités que le progrès technologique offre pour certaines données pédologiques. L'emploi de pédologues dans ces structures n'est pas systématique et la prise en compte du sol comme entité à part entière dans les nouvelles solutions proposée n'est pas garantie.

Le désintérêt de la société concernant le sol a également des répercussions sur son enseignement. Aucune formation supérieure sur le sol n'est créée et son enseignement n'apparaît que sporadiquement dans les enseignements du secteur de l'agriculture et les nouvelles formations en technologies de l'acquisition des données. Des formations courtes sur les sols et ses technologies d'acquisition sont pratiquées, soit en interne dans les entreprises du secteur, soit dans le cadre de dispositifs de formation continue.

Ses hypothèses sont les suivantes (voir résumé en Figure 21).

- Un contexte juridique caractérisé par la prééminence du caractère confidentiel de ces données sur leur nature d'intérêt public, limitant ainsi leur circulation.
- Un contexte économique de la production de cartographie des sols marqué par un soutien majoritaire par des fonds privés.
- Des commanditaires essentiellement privés (Groupements de producteurs, syndicats viticoles, coopératives, agro-industries, industries de l'environnement et du traitement des déchets…) intéressés par leurs propres territoires et objectifs.
- Les producteurs de données brutes ne sont plus majoritairement des experts pédologues. Concurrence accrue des entreprises spécialistes en proxy-détection et télédétection des sols.
- Diversité de producteurs de cartographies avec une montée en puissance des spécialistes de géomatique et de statistique spatiale.
- Les commanditaires conservent leurs données en s'appuyant sur la jurisprudence et les gèrent, au mieux, en interne avec un format « maison ». Peu de réutilisations des données produites donc pas de marché des données significatif
- La R&D en matière de cartographie des sols est assurée essentiellement par structures privées, essentiellement investies dans la proxydétection et les fonctions de pédotransfert associées, sans participation de pédologues de formation
- Une formation essentiellement sous l'initiative privée, formations courtes sur les sols et ses technologies d'acquisition pratiquées soit en interne dans les entreprises du secteur, soit dans le cadre de dispositifs de formation continue.
- Aucune régulation. Pas de cahier des charges ni de procédures de labellisation. Les chargés d'étude imposent à des commanditaires, souvent non experts en sol, des objectifs de cartographie limités à leurs possibilités d'investigation. Les formats de sorties sont ceux qui arrangent le chargé d'étude.

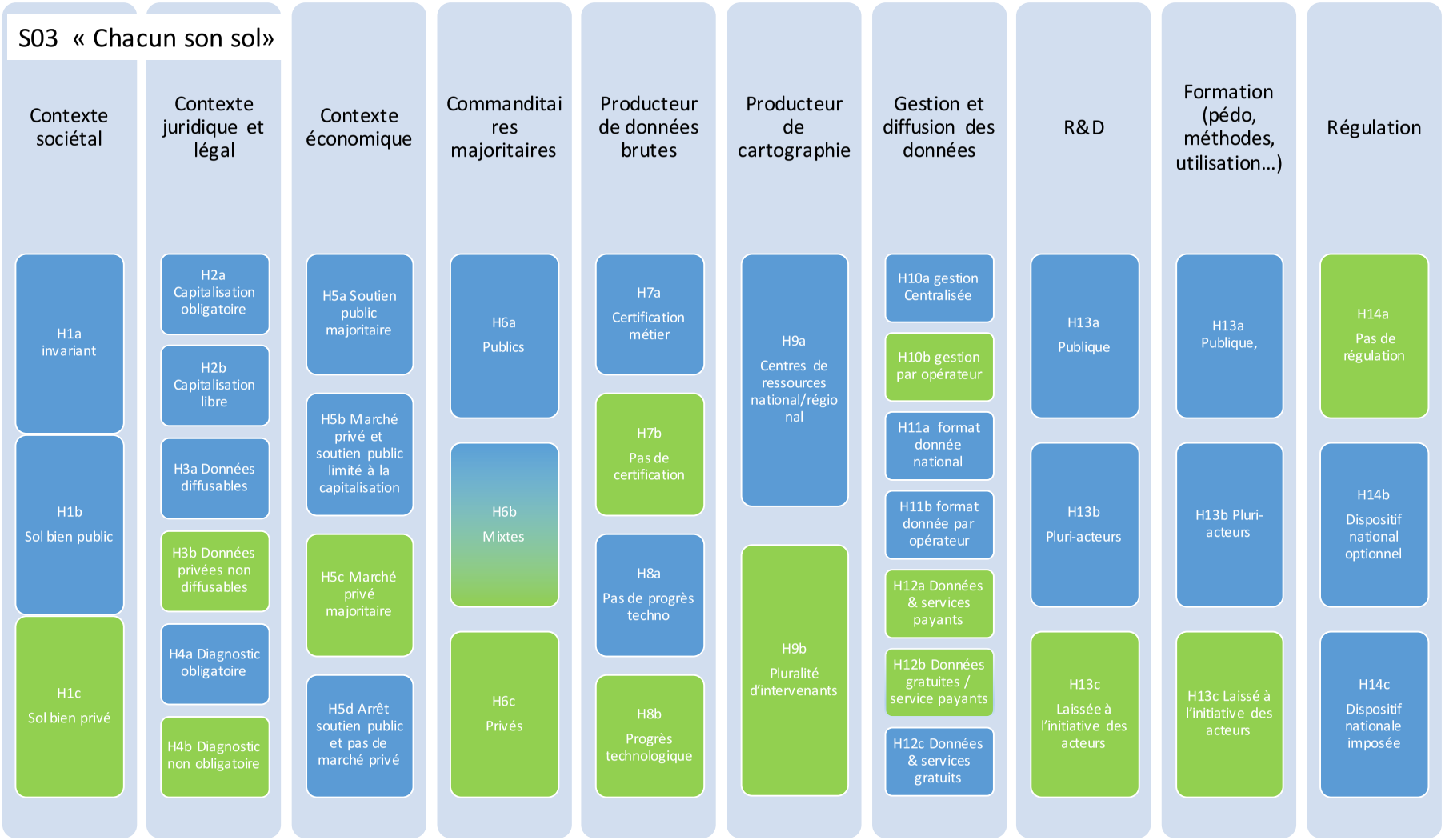


Figure 21 : Hypothèses retenues (en vert) pour le scénario S03 « Chacun son sol »

4.5.5 Scénario SO4 dit « Chacun son sol avec régulation publique »

Le synopsis du SO4

- **La ressource en sol ne constitue pas une priorité du même ordre que d'autres ressources comme l'eau pour la société et les pouvoirs publics**. Néanmoins, sa connaissance est reconnue comme un pré-requis nécessaire par certains décideurs pour gérer quelques enjeux sociétaux bien médiatisés (protection des aires de captage, protection des terres agricoles contre l'urbanisation, devenir de la forêt sous changement climatique, gestion des déchets, etc.). En l'absence d'action spécifique des pouvoirs publics, aucune évolution du contexte juridique concernant les sols n'est impulsée. L'opportunité et le mode de diffusion des données de sol sont donc laissés à l'appréciation des détenteurs de ces données qui décident selon leur intérêt et selon leur connaissance du contexte juridique et du risque associé.
- **Les études de sol sont majoritairement financées en région par des fonds publics** de différentes origines (programmes Européens, Agences de l'eau, collectivités territoriales…), en fonction des enjeux perçus localement et sectoriellement. Le ministère de l'agriculture choisit de financer prioritairement une régulation des études pédologiques comprenant l'élaboration de cahiers des charges (incluant un format d'échange et de diffusion normalisé) ainsi que l'emploi de pilotes scientifiques, spécialistes reconnus en pédologie et cartographie des sols, présents en régions et garants de la qualité des études et apte à les labelliser.
- **Les études pédologiques restent majoritairement à l'initiative de commanditaires publics mais des commanditaires privés existent également**, convaincus de l'importance de connaître le sol pour leurs zones d'intérêt propre (coopératives, agro-industries, industries de l'environnement et du traitement des déchets…).
- **Les commanditaires établissent leur cahier des charges en référence aux cahiers des charges promulgués à l'échelle nationale** en les adaptant au besoin avec l'appui des pilotes scientifiques disponibles en région. **Les producteurs de données brutes sont choisis sur la base d'un niveau de compétence minimum en pédologie appréciée par certification AFES ou par le pilote scientifique**. Si les chargés d'étude candidats sont des entreprises qui exploitent et vendent les progrès technologiques en matière de proxy et télédétection des sols, il leur est demandé d'embaucher ou de s'associer à un bureau d'étude de pédologie pour replacer les mesures effectuées dans une approche plus globale de la couverture pédologique. Les commanditaires publics demandent généralement que l'étude produite soit labellisée. Certains commanditaires privés cherchant à valoriser les données sol qu'ils collectent voient également un intérêt à faire labelliser leur donnée.
- Le choix des producteurs de cartographie suit la même logique. La CSMS étant désormais maîtrisée par une grande diversité de chargés d'étude, **les cartographies de sol sont produites potentiellement par une large gamme d'opérateurs qui peuvent être non pédologues**. Cependant, dans le cadre de procédures de labellisation, sont mises en place des évaluations quantitatives des cartes ainsi que des contrôles de cohérence avec la connaissance pédologique a priori des zones d'études. Ceci a pour effet de favoriser la participation des pédologues aux cartographies de sol afin de limiter au maximum la production de cartes « aberrantes »
- **Une grande partie des données sols collectées par divers programmes grâce à des fonds publics est intégrée au système d'information national, ce qui est rendu possible par les formats d'échange normalisés définis par la régulation**. Ces données sont capitalisées et diffusées librement au niveau national (GISSOL) ou régional (IDG Régional, CRA, …) avec, cependant, la prise en compte d'un coût de traitement variable selon les régions. La réutilisation des données acquises localement pour des études sur des étendues plus grandes intéressant des collectivités (région, Etat) est appliqué au coup par coup. Cependant, une partie des données sols échappe encore aux opérateurs de diffusion gratuite des données sols parce que le statut privé des données prévaut pour les commanditaires privés. Les diffuseurs de données géographiques privés nationaux ou internationaux, s'intéressent à ces données privées dont la qualité est garantie et le format homogène. Un marché privé de la donnée sol se développe avec des transactions de gré à gré pour l'acquisition et la vente de ces données. Motivé par une demande importante de la société pour le sol et ayant des puissances financières importantes, les diffuseurs de données géographiques privés moissonnent les données privées. **Une offre payante de données sol se juxtapose à l'offre gratuite. Elle est justifiée par une plus grand volume de données disponibles et supplante les portails publics dans la diffusion des données sol**.
- La puissance publique reconnaissant l'intérêt de la connaissance des sols pour résoudre certains problèmes sociétaux consent à maintenir **une R&D active dans la recherche et l'enseignement supérieur publics**. Les chercheurs et ingénieurs de ces structures restent actifs dans l'amélioration des méthodologies de CSMS, dans la production de cartographies à l'échelle nationale (Infosol) et dans les comités de pilotage du programme de cartographie du ministère de l'agriculture. La proximité qu'ils entretiennent avec des pilotes scientifiques au travers de structures de concertation (RMT) permet la démultiplication de leur action en région.
- De nombreuses formations dans le domaine de l'agronomie, de la forêt, de l'environnement et de l'aménagement urbain intègrent des enseignements théoriques et pratiques sur les sols. Cependant, **le sol ne retrouve pas une place à part entière dans l'enseignement supérieur**, ce qui ne favorise pas le renouvellement de pédologues ayant une vision « généraliste » du sol. Des formations courtes sur les technologies d'acquisition de données sol et sur les méthodes de CSMS, éventuellement basés sur des produits pédagogiques fournis par la R&D publique, sont pratiquées dans le cadre de dispositifs de formation continue.

Ce scénario est intermédiaire entre les scénarios SO1 et SO2 d'une part et le scénario SO3. Ses hypothèses sont les suivantes (voir résumé en Figure 22).

- Un contexte juridique caractérisé par la prééminence du caractère confidentiel de ces données sur leur nature d'intérêt public, limitant ainsi leur circulation.
- Un contexte économique de la production de cartographie des sols marqué par un soutien majoritaire par des fonds privés.
- Des commanditaires essentiellement privés (Groupements de producteurs, syndicats viticoles, coopératives, agro-industries, industries de l'environnement et du traitement des déchets…) intéressés par leurs propres territoires et objectifs.
- Les producteurs de données brutes restent des pédologues, souvent associés à des spécialistes en proxydétection et télédétection des sols
- Diversité de producteurs de cartographies avec une montée en puissance des spécialistes de géomatique et de statistique spatiale associés à des pédologues.
- Les commanditaires conservent leurs données en s'appuyant sur la jurisprudence mais peuvent revendre leurs données à des commanditaires interférant avec leur territoire. Localement, capitalisation des données sols ciblées sur des territoires privilégiés.
- La R&D en matière de cartographie des sols est assurée essentiellement par structures privées, essentiellement investies dans la proxydétection et les fonctions de pédotransfert associées, avec cependant la participation de pédologues de formation.
- Une formation essentiellement sous l'initiative privée, formations courtes sur les sols et ses technologies d'acquisition pratiquées soit en interne dans les entreprises du secteur, soit dans le cadre de dispositifs de formation continue.
- Régulation pour sécuriser les commanditaires d'étude pédologique : cahier des charges types, réseau de pilotes scientifiques en région, labellisation optionnelle.

Figure 22 : Hypothèses retenues (en vert) pour le scénario S04 « Chacun son sol avec régulation publique »

5 L'évaluation des scénarios

5.1 Estimation des coûts des scénarios

Les calculs ont été réalisés en considérant les estimations des coûts liés à l'acquisition de nouvelles données, soit pour densifier les données des RRP, soit pour compléter les PRA dans lesquelles très peu d'analyses sont disponibles. Les couts considérés correspondent aux scénarios techniques (ST1 à ST5 détaillés dans 3.4).

En fonction des scénarios organisationnels SO1 à SO4, et de leurs ambitions différentes, **on obtient des coûts d'acquisition des données différentes** :

- **Scénario SO1** : sur des investissements publics, en poursuivant et amplifiant la dynamique actuelle d'acquisition de données, il combine une meilleure densité de couverture du territoire avec une connaissance détaillée des sols à haute résolution sur des secteurs de référence dans l'ensemble des PRA françaises. Cette situation correspond au ST4. **Il coûte environ 36 M€, répartis sur 20 ans**.
- **Scénario SO2** : le sol devenant un enjeu national, aux investissements publics s'adjoignent des investissements privés, qui permettent alors une couverture beaucoup plus dense du territoire. Cette situation correspond au ST5 et **coûte environ 60 M€** (dont 20 M€ supportés par l'investissement privé).
- **Scénario SO3** : l'investissement pour l'acquisition des données se limite au secteur privé qui investit dans des études détaillées locales selon ses intérêts, mais dans le cumul répondrait au bout de 20 ans environ au ST3. **Le budget serait donc de 20 M€.** Notons que les données publiques seraient disponibles et maintenues par soutien public.
- **Scénario SO4** : comme précédemment, l'investissement en termes d'acquisition des données est porté par le secteur privé, **au même montant que SO3 à savoir 20 M€**. Mais pour ce scénario un appui technique et scientifique est maintenu par l'Etat.

A ces dépenses d'acquisition de données sur 20 ans, s'ajoutent celles liées à la gestion des données, leur analyse et interprétation mais également, en fonction des scénarios, des dépenses de mise en place d'une mission d'appui, de formation et d'expertise.

Pour être en mesure de réaliser les évaluations des 4 scénarios, les hypothèses suivantes ont été prises :

- Les coûts complets 2016 de l'unité InfoSol liés à la gestion des données (i.e. définition et entretien des bases de données « sol ») et au traitement des données (i.e : traitements et restitutions statistiques et cartographiques) ont été considérés. Ils sont annuellement respectivement de 295 K€ et de 705 K€, ce qui correspond à 5 et 11 ETP.
- Pour le calcul des coûts consolidés d'ETP nécessaires à l'acquisition des données, les coûts complets 2016 de l'unité InfoSol ont également été considérés, à savoir 1 251 K€, correspondant à 17,5 ETP. Ce montant correspond aux dépenses annuelles de la partie acquisition des données sol dans l'unité traitant les programmes IGCS et RMQS. Le calcul des coûts d'ETP nécessaires à la réalisation des scénarios est donc considéré comme proportionnel à celui des ETP d'Infosol.

La Figure 23 et la Figure 24 présentent le profil des dépenses sur 20 ans et les ETP annuellement nécessaires en fonction des scénarios (aucune actualisation des coûts n'est considérée dans ces calculs).

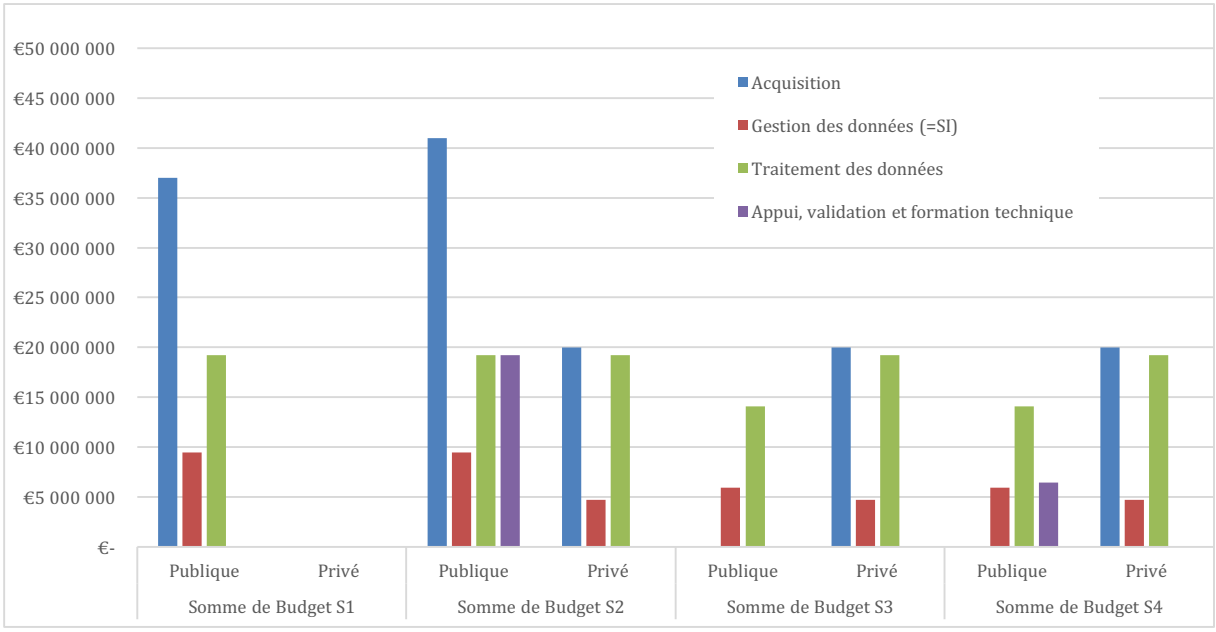


Figure 23 : Détail des postes de dépenses, en fonction des scénarios, sur 20 ans (sans actualisation des coûts).

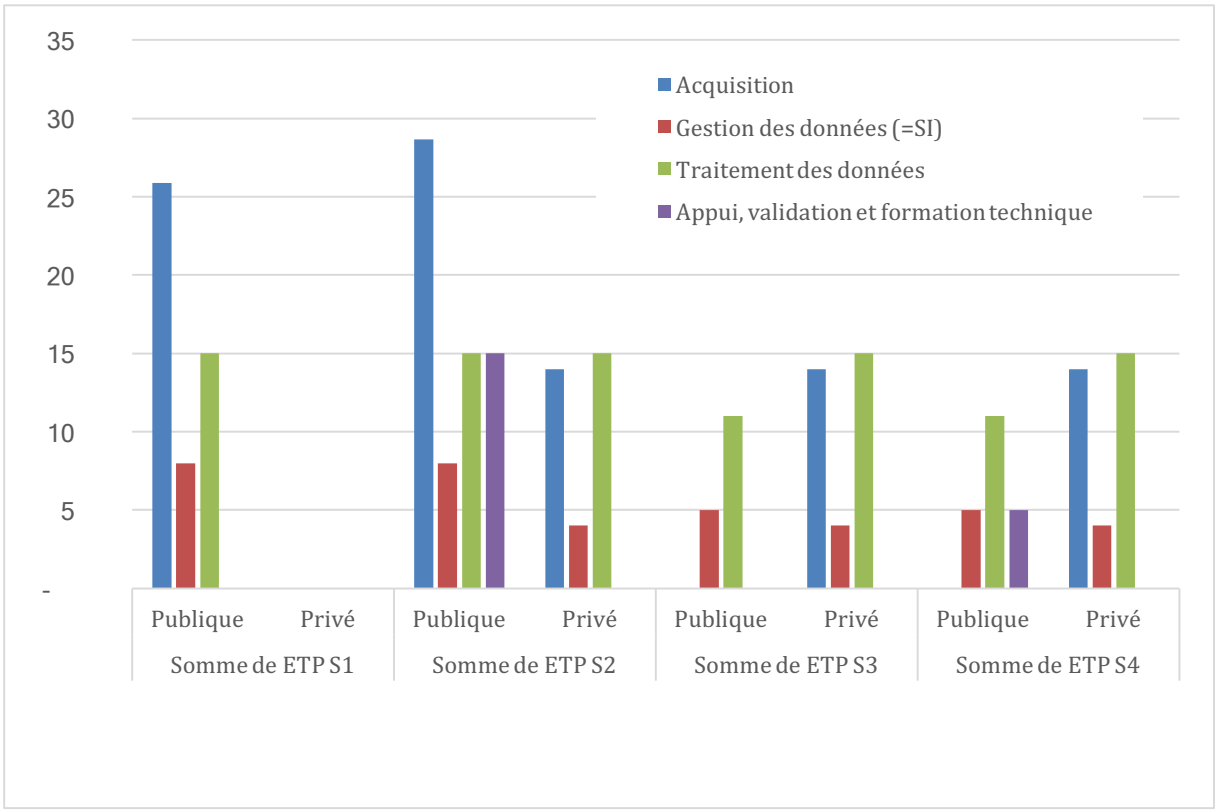


Figure 24 : Détail des ETP nécessaires, par an, en fonction des scénarios

Le **scénario SO1** qui suppose le prolongement et l'amplification de l'appui de l'Etat engendre des **dépenses totales et publiques de plus de 3,2 M€ par an**, intégrant l'acquisition, la gestion et le traitement des informations sur les sols de France. Ce scénario impliquerait annuellement une cinquantaine d'ETP pour couvrir l'ensemble des activités.

Par rapport aux autres scénarios, le second, **SO2**, contraste par le niveau d'investissement pour l'acquisition de nouvelles données. Dans cette hypothèse, la puissance publique s'implique plus que précédemment, notamment en appui aux acquisitions réalisées par les partenaires privés, pour un montant d'environ 3,4 M€. Les montants globaux investis sont plus importants, cela représenterait pour **SO2 près de 6,6 M€ par an, dont 2,2 M€ financés par le secteur privé**. Ce scénario est bien évidemment le plus consommateur de main d'œuvre compte tenu des nouvelles acquisitions à faire. D'après les hypothèses, cela nécessiterait environ 100 ETP par an.

Finalement, les scénario **SO3** et **SO4** diffèrent des autres en ce sens qu'ils ne font plus appel à des soutiens publics pour l'acquisition des nouvelles données. Le soutien public subsiste pour la gestion des données existantes et leur traitement pour des besoins publics. Le scenario S4 qui implique une régulation plus importante, impose la mise en place d'actions d'appui, de formation et d'expertise. Celles-ci sont soutenues par l'Etat. Annuellement, **les montants d'investissement global seraient de 3,2 et 3,5 M€ par an, respectivement pour les scénarios SO3 et SO4 avec un financement privé de 2,2 M€**. Ces 2 scénarios mobiliseraient également comme le SO1 environ une cinquantaine de personnes.

Dans ces hypothèses, par rapport au schéma décrivant les acteurs de la filière (Figure 17), ne sont pas estimés les coûts liés par exemple à la recherche. De même, les coûts ne sont pas actualisés sur les 20 ans et sont comptés comme identiques, pour les secteurs privés et publics. Ces calculs sont donc réalisés à titre exploratoire. Ils seraient également à préciser pour les différents postes en fonction des scénarios.

5.2 L'analyse des modèles économiques des scénarios

L'évaluation financière des différents scénarios est essentielle mais ne représente en soi qu'un élément d'un modèle économique d'accès au marché. Pour construire l'ensemble du modèle économique de la cartographie des sols en France, il faut également tenir compte des besoins clés des différents acteurs, de l'offre possible, de la proposition de valeur et de produits/services, et enfin de modèles de revenu en plus de la structure de coût déjà évoquée précédemment.

5.2.1 La démarche d'accès au marché

L'application d'une méthode complète d'accès au marché pour la cartographie des sols est une démarche nouvelle et innovante. Il s'agit ici d'une première application et de premiers éléments de modèles économiques présentés à titre illustratif, et restant à finaliser. En particulier, l'évaluation concrète et précise des différents services pouvant être rendus aux différents utilisateurs et producteurs de la cartographie des sols en France nécessite un temps de travail spécifique « marketing », qui n'est pas habituel pour les acteurs actuels de la cartographie des sols. Il semble toutefois indispensable pour appréhender au mieux les différentes perspectives pour la cartographie des sols en France.

La méthode utilisée pour concevoir la stratégie d'accès au marché pour la cartographie des sols en France, et le modèle économique correspondant, est la méthode du Business Design développé par la société Vianeo. Elle permet la centralisation, l'analyse et la conception d'une stratégie marché pour tous les projets innovants, à l'aide d'une plateforme collaborative. Une version de cette méthode est utilisable gratuitement en ligne : https://myproject.vianeo.io/index.php?lang=fr.

La méthode consiste à explorer, à l'aide de différentes questions, les cinq étapes suivantes (Figure 25) : la nouveauté, les usages, l'écosystème, l'offre et le business model. Chacune de ces étapes permet de valider cinq preuves qui font la valeur du projet : la légitimité, la désirabilité, l'acceptabilité, la faisabilité et la viabilité.

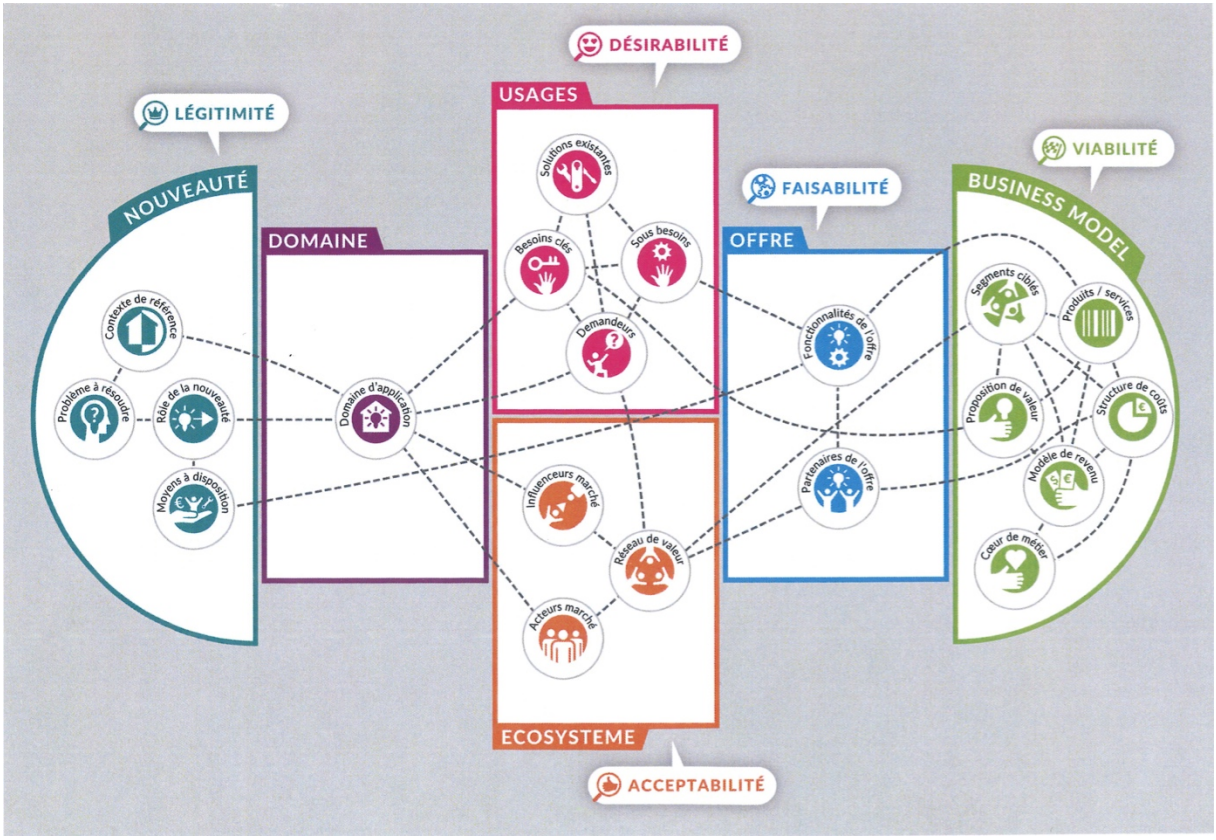


Figure 25 : Marelle d'accès au marché (© Vianeo)

5.2.2 La nouveauté – valider la preuve de la légitimité

Sans problème à résoudre, pas d'innovation possible.

Cette première étape permet de définir la finalité tout autant que l'ADN du projet ainsi que d'identifier le périmètre du marché. Il s'agit de décrire le problème principal à résoudre, les moyens à disposition à ce stade et le marché ciblé. Ces éléments sont les gages de solidité du projet.

Le problème principal à résoudre reprend la question formulée lors des scénarios organisationnels : « comment améliorer la connaissance spatialisée des sols et son appropriation par les utilisateurs afin de favoriser sa prise en compte dans les enjeux sociétaux » (Figure 26).

Le marché ciblé est issu des résultats de l'enquête sur les perspectives d'évolution de la cartographie des sols en France. Il s'agit des grandes thématiques d'application des cartes des sols, identifiées par les utilisateurs et les producteurs de données : agriculture, gestion de la qualité de l'eau, artificialisation des sols, érosion, production forestière. D'autres thématiques ont également été listées dans l'enquête : fertilité chimique, biodiversité, santé, risques naturels et aménagement du territoire, services écosystémiques rendus par les sols. Elles pourraient compléter ce marché.

Les moyens humains, physiques et intellectuels, correspondent aux moyens actuels des différents partenaires, notamment pour les centres de ressources national et régionaux ainsi que l'opérateur R&D Theia qui sont cités dans les scénarios organisationnels.

Concernant les moyens financiers existants actuellement, sont reportés les fonds propres des partenaires IGCS (dont INRA) et le soutien public par le ministère en charge de l'agriculture.

NOUVEAUTE

Problème à résoudre	Marché
Comment améliorer la connaissance spatialisée des sols et son appropriation par les utilisateurs afin de favoriser sa prise en compte dans les enjeux sociétaux ?	Agriculture, gestion de la qualité de l'eau, artificialisation des sols, érosion, production forestière + autres thématiques de l'enquête

Moyens à disposition

Moyens humains	Moyens physiques ou intellectuels	Moyens financiers
• Compétences en pédologie • Compétences en géomatique • ⊘ Compétences en modélisation • ⊘ Compétences économiques et juridiques • Réseau d'acteurs à différentes échelles (RNEST, IGCS, RMT Sols & Territoires)	• ⊘ Centre de ressources national (INRA InfoSol) et régionaux (IGCS) • ⊘ Opérateur en R&D public (CES Theia)	• Fonds propres • Soutien public Etat

Figure 26 : Validation de la preuve de valeur légitimité

Il existe actuellement des moyens pour résoudre le problème identifié. Parmi les moyens à disposition, plusieurs sont rares voire uniques : les compétences en modélisation, les compétences économiques et juridiques, les centres de ressources national et régionaux, l'opérateur en R&D public Theia. Ils permettent de proposer une offre qui est différente. La méthode conclut à la légitimité du projet.

5.2.3 Les usages – valider la preuve de la désirabilité

Sans besoins importants et mal satisfaits par les solutions existantes, pas d'innovation possible

Cette étape permet d'étudier et comprendre les usages, d'identifier les attentes et les manques actuels. Il s'agit de définir les besoins clés du marché, les demandeurs qui expriment ces besoins, les solutions existantes aujourd'hui. Ces éléments permettent d'identifier les futurs utilisateurs de l'innovation à prendre en compte en priorité.

Les demandeurs correspondent aux typologies établies lors de l'enquête sur les perspectives d'évolution de la cartographie des sols en France, et reprises dans les différents scénarios organisationnels : les producteurs de données brutes, les producteurs de cartographies (conventionnelles ou à base statistique), et les utilisateurs de données sol sous différents formats (bases de données, cartes de sols et cartes thématiques) (Figure 27).

Les besoins reprennent les différentes analyses effectuées lors de l'enquête, sur les aspects « besoins en données pédologiques et cartographiques », « traitement des données pédologiques et/ou cartographiques », « modalités de diffusion ».

Les solutions existantes correspondent à la situation actuelle en termes de programmes de cartographie des sols en France (à toutes les échelles), d'outils et méthodes de saisie, extraction et transformation, analyse et modélisation, et enfin de diffusion de donnés et d'application des cartes de sol.

USAGES

Demandeurs	Besoins	Solutions existantes
• Producteurs de données brutes et de cartographies • Utilisateurs des données sol	• Améliorer la connaissance spatialisée des sols (densité, précision, couverture, propriétés sol) • Disposer d'outils et de méthodes de traitement (mise en base de données, cartographies) • S'approprier la connaissance spatialisée des sols (diffusion des données, production de données élaborées)	• Etat actuel des programmes de cartographie des sols en France • Outils et méthodes actuels de saisi, extraction et transformation, analyse et modélisation • Etat actuel de diffusion des données et d'application des cartes de sol

Figure 27 : Validation de la preuve de valeur désirabilité

Chaque besoin peut être qualifié pour chaque demandeur en fonction du niveau d'importance de ce besoin et du niveau de satisfaction par les solutions existantes actuellement (Figure 28).

Figure 28 : Qualification des besoins par les demandeurs

L'amélioration de la connaissance spatialisée des sols en termes de densité, de précision, de couverture, de propriétés des sols (variables d'intérêt) peut être considéré comme un besoin important à la fois pour les producteurs de données et les utilisateurs. Pour les producteurs, le besoin n'est pas satisfait par l'état actuel des programmes de cartographie des sols en France, même si leur avancée est réelle. Pour les utilisateurs, l'enquête démontre qu'ils ont plus tendance « à faire avec ce qu'ils ont », parfois avec des rendus cartographiques à des échelles ne correspondant pas à celles des cartes de sol utilisées. L'utilisation d'autres types de cartes (géologiques par exemple), voire, la non prise en compte de données sol, ne sont pas citées mais peuvent faire parti des solutions existantes aujourd'hui.

Le fait de pouvoir disposer d'outils et de méthodes de traitement, à la fois pour la mise en base de données et la réalisation de cartographies conventionnelles ou à base statistique, semble un besoin important plutôt pour les producteurs de données. Des outils et méthodes de saisie, extraction, analyse et modélisation existent actuellement mais, selon l'enquête, avec une utilisation encore limitée par manque de compétences et/ou de temps.

Enfin, concernant l'appropriation de la connaissance spatialisée des sols, par diffusion des données et production de données élaborées ou cartes thématiques par différentes méthodes, ce besoin est plutôt prépondérant pour les utilisateurs, avec une insatisfaction liée à la méconnaissance des programmes de cartographie actuels, à des modalités de téléchargement des données cartographiques réduites et à des applications restant à développer sur certaines thématiques.

Parmi les besoins identifiés, quatre semblent importants et mal-satisfaits par les solutions actuelles (Figure 29) : améliorer la connaissance spatialisée des sols à la fois pour les producteurs de données brutes et les producteurs de cartographies, disposer d'outils et de méthodes de traitement (notamment pour les cartographies à base statistique) pour les producteurs de cartographies, et s'approprier la connaissance spatialisée des sols pour les utilisateurs. Ce sont des « must have », correspondants à un véritable manque ressenti par les demandeurs. La prise en compte de ce type de besoin représente une forte opportunité pour la cartographie des sols en France.

Besoins / Demandeurs	Producteurs de données brutes	Producteurs de cartographies	Utilisateurs de données sol
Améliorer la connaissance spatialisée des sols (densité, précision, couverture, propriétés sol)	★★★ Must Have	★★★ Must Have	
Disposer d'outils et de méthodes de traitement (mise en base de données, cartographies)	★☆☆ Nice to Have	★★★ Must Have	★☆☆ Nice to Have
S'approprier la connaissance spatialisée des sols (diffusion des données, production de données élaborées)	☆☆☆ Left Behind	☆☆☆ Left Behind	★★★ Must Have

Figure 29 : Besoins qualifiés selon leur importance et leur satisfaction, pour les différents demandeurs

La mise à disposition d'outils et de méthodes de traitement aux producteurs de données brutes et aux utilisateurs correspondrait plutôt à un besoin secondaire mais qui est mal satisfait par les solutions existantes. Il ne représente pas en soi une grande opportunité mais le prendre en compte pourrait être un plus (« nice to have »).

5.2.4 L'écosystème – valider la preuve de l'acceptabilité

Une innovation prend place dans un écosystème existant qui ne l'attend pas.

Le projet se développe dans un écosystème existant qu'il est important de connaître. Si certains acteurs peuvent être favorables, d'autres peuvent être neutres ou défavorables. Il s'agit donc d'identifier les groupes d'acteurs économiques, les influenceurs principaux, leur lien avec les demandeurs, qui expriment ces besoins. Ces éléments permettent d'identifier les acteurs avec lesquels des partenariats peuvent être noués en priorité pour entrer sur le marché.

L'analyse des acteurs et influenceurs du marché de la cartographie des sols en France reprend le schéma organisationnel proposé en Figure 17. Les acteurs économiques du marché (appelés aussi segments de marché) sont ainsi les commanditaires (publics, mixte ou privés), les producteurs de données brutes, les producteurs de données cartographiques, les gestionnaires et diffuseurs de données sol, les utilisateurs des données sol (hors commanditaires), les opérateurs en R&D, les formateurs et les régulateurs. De façon générale, il ne semble pas y avoir d'acteurs défavorables au projet d'amélioration de la connaissance spatialisée des sols et de son appropriation par les utilisateurs (Figure 30). Toutefois, des positions différentes, voire concurrentielles, pourraient apparaître au sein d'un même groupe d'acteurs, par exemple entre des commanditaires publics et privés. Les influenceurs du marché, jouant un rôle non économique, sont les porteurs d'enjeu et les prescripteurs de la cartographie des sols. Ils sont plutôt favorables à cette entrée sur le marché.

ECOSYSTEME

Acteurs du marché	Influenceurs du marché
• Commanditaires (publics, mixtes ou privés) • Producteurs de données brutes • Producteurs de données cartographiques • Gestionnaires et diffuseurs de données sol • Utilisateurs (hors commanditaires) • Opérateurs en R&D • Formateurs • Régulateurs	• Porteurs d'enjeu (associations, ONG, ministères, commission européenne, etc.) • Prescripteurs de la cartographie des sols (commission européenne, etc.)

Figure 30 : Acteurs et influenceurs du marché

La correspondance entre les groupes d'acteurs et les demandeurs montre (Figure 31) que plusieurs demandeurs « must have » se situent dans des groupes d'acteurs favorables.

Acteurs du marché	Demandeurs
Commanditaires (publics, mixtes ou privés)	• Producteurs de données brutes • Producteurs de cartographies
Producteurs de données brutes	• Producteurs de cartographies
Producteurs de données cartographiques	• Utilisateurs de données sol
Gestionnaires et diffuseurs de données sol	• Utilisateurs de données sol
Utilisateurs (hors commanditaires)	
Opérateurs en R&D	• Producteurs de cartographies
Formateurs	• Producteurs de cartographies • Producteurs de données brutes • Utilisateurs de données sol
Régulateurs	• Utilisateurs de données sol • Producteurs de cartographies • Producteurs de données brutes

Figure 31 : Acteurs et demandeurs du marché

L'association des différents groupes d'acteurs selon des relations économiques constitue le réseau de valeur du marché. Cette cartographie reprend celle du schéma organisationnel de la cartographie des sols en France, avec des acteurs amont (fournisseurs) et des acteurs aval (clients). Les utilisateurs finaux se retrouvent dans un groupe d'acteurs à l'extrémité du réseau de valeur (tout à droite) qui ne vend rien à personne. Ils sont appelés également « segment de marché final » (Figure 32).

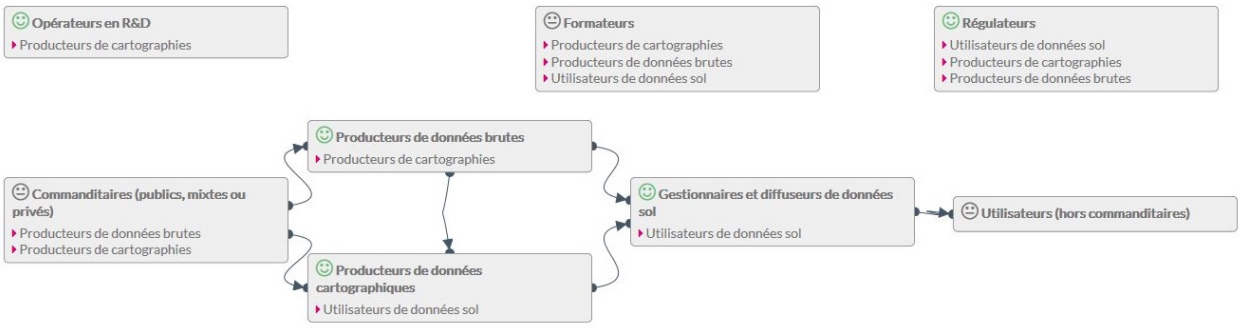


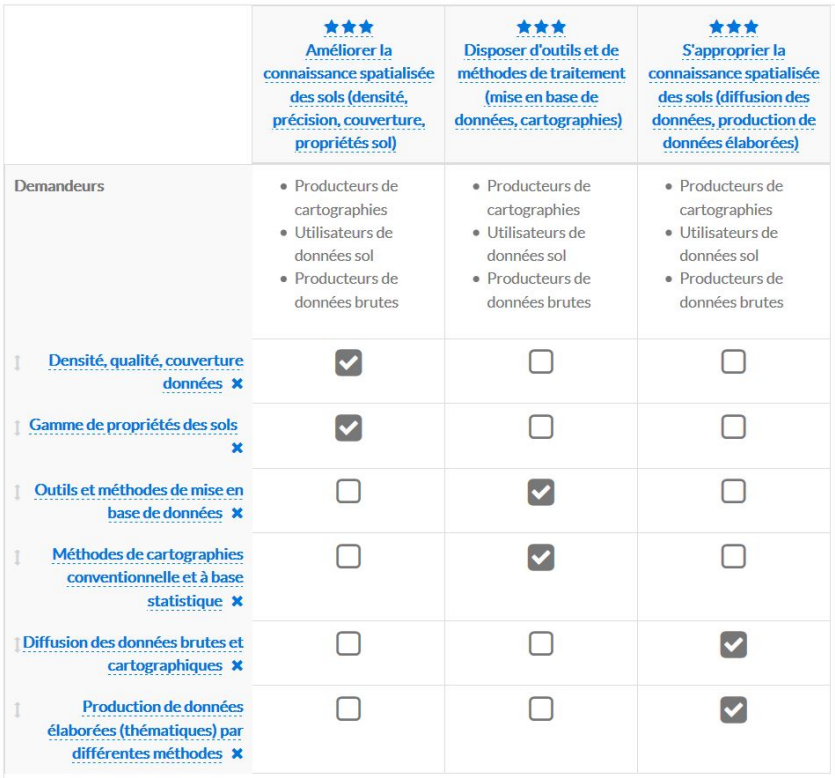
Figure 32 : Cartographie du réseau de valeur du marché de la cartographie des sols en France

5.2.5 L'offre – valider la preuve de la faisabilité

Une offre innovante doit se concentrer sur les besoins du marché non satisfaits aujourd'hui.

Il s'agit dans cette étape de concevoir une offre en lien avec les besoins du marché à satisfaire. Pour chaque besoin, les fonctionnalités qui y répondent doivent être définies et reliées aux moyens à disposition, aux éventuels partenaires techniques et aux capacités de développement. Ces éléments permettent de concevoir le "Minimum Viable Product", c'est à dire l'offre optimale pour entrer sur le marché. Pour réaliser cette étape, il est fortement recommandé de prototyper l'offre.

Concernant la cartographie des sols (Figure 33), différentes fonctionnalités (en ordonnées) peuvent être définies en fonction des trois grands besoins identifiés par les différents demandeurs en abscisses). Ces fonctionnalités reprennent en partie les critères d'évaluation ou indicateurs de succès des différents scénarios organisationnels :



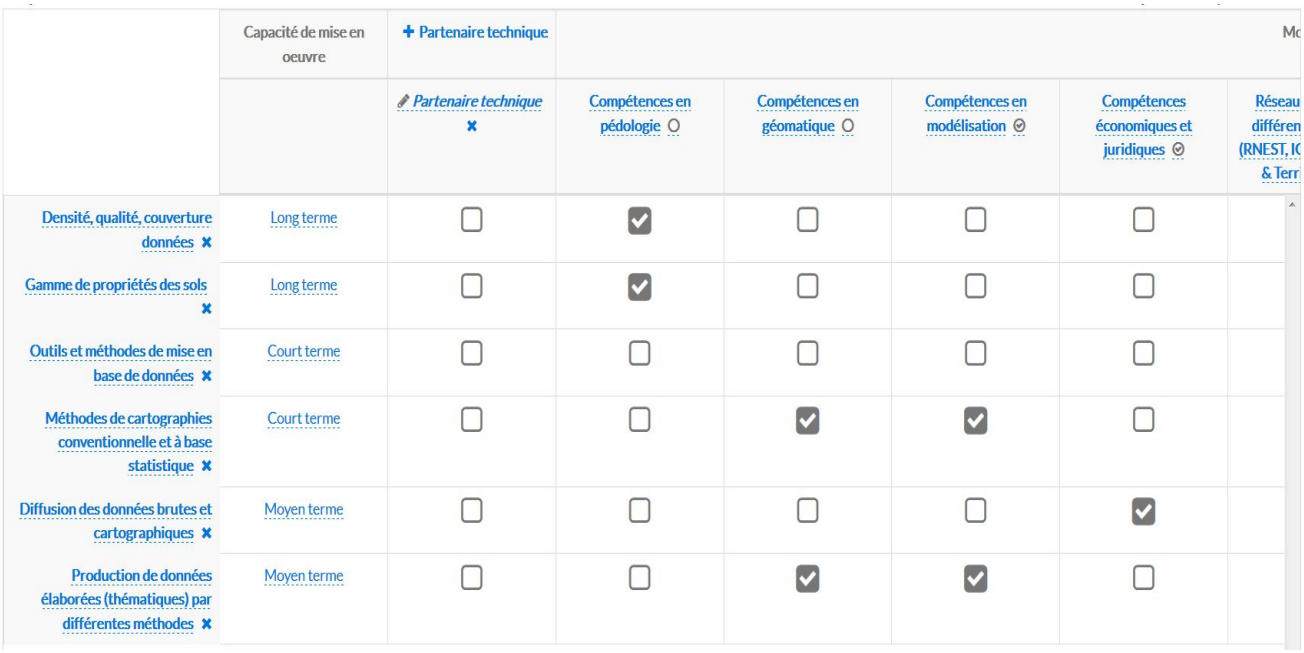
	★★★ Améliorer la connaissance spatialisée des sols (densité, précision, couverture, propriétés sol)	★★★ Disposer d'outils et de méthodes de traitement (mise en base de données, cartographies)	★★★ S'approprier la connaissance spatialisée des sols (diffusion des données, production de données élaborées)
Demandeurs	• Producteurs de cartographies • Utilisateurs de données sol • Producteurs de données brutes	• Producteurs de cartographies • Utilisateurs de données sol • Producteurs de données brutes	• Producteurs de cartographies • Utilisateurs de données sol • Producteurs de données brutes
Densité, qualité, couverture données	☑	☐	☐
Gamme de propriétés des sols	☑	☐	☐
Outils et méthodes de mise en base de données	☐	☑	☐
Méthodes de cartographies conventionnelle et à base statistique	☐	☑	☐
Diffusion des données brutes et cartographiques	☐	☐	☑
Production de données élaborées (thématiques) par différentes méthodes	☐	☐	☑

Figure 33 : Fonctionnalités (en ordonnées) selon les besoins (en abscisses) et les demandeurs

- Pour le besoin d'améliorer la connaissance spatialisée des sols, les fonctionnalités pourraient être la fourniture de données suffisante en densité, qualité et couverture, et une gamme appropriée de propriétés des sols.
- Pour le besoin de disposer d'outils et de méthodes de traitement, les fonctionnalités pourraient être la production et le transfert d'outils et méthodes de mise en base de données et de méthodes de cartographies conventionnelle et à base statistique.
- Pour le besoin de s'approprier la connaissance spatialisée des sols, les fonctionnalités pourraient être la diffusion des données brutes et cartographiques et la production de données élaborées (thématiques) par différentes méthodes.

Pour qualifier la capacité à développer chaque fonctionnalité, il faut également préciser (Figure 34) :

- dans quel délai cette fonctionnalité peut être mise en œuvre, avec les moyens actuels,
- s'il est nécessaire de recourir à des partenaires techniques externes,
- dans quelle mesure elle mobilise les différents moyens humains, physiques et intellectuels, et financiers à disposition, tels que définis dans l'étape « nouveauté ».



	Capacité de mise en oeuvre	+ Partenaire technique					
		Partenaire technique ×	Compétences en pédologie	Compétences en géomatique	Compétences en modélisation	Compétences économiques et juridiques	Réseau différen (RNEST, IC & Terr
Densité, qualité, couverture données ×	Long terme	☐	☑	☐	☐	☐	
Gamme de propriétés des sols ×	Long terme	☐	☑	☐	☐	☐	
Outils et méthodes de mise en base de données ×	Court terme	☐	☐	☐	☐	☐	
Méthodes de cartographies conventionnelle et à base statistique ×	Court terme	☐	☐	☑	☑	☐	
Diffusion des données brutes et cartographiques ×	Moyen terme	☐	☐	☐	☐	☑	
Production de données élaborées (thématiques) par différentes méthodes ×	Moyen terme	☐	☐	☑	☑	☐	

Figure 34 : Fonctionnalités (en ordonnées) selon la capacité de mise en œuvre, le besoin en partenaire technique externe et les moyens à disposition (en abscisses)

5.2.6 Le modèle économique – valider la preuve de la viabilité

Que vendre et à qui ? Avec quelle proposition de valeur pour l'utilisateur, le client et l'innovateur.

Cette étape doit permettre de créer des couples produits-marché et de définir le modèle économique pour chacun. Chaque produit/service est constitué de fonctionnalités définies à l'étape précédente. Ces éléments permettent de définir le positionnement de l'offre innovante le plus pertinent sur le marché. Le déploiement commercial d'une innovation doit se focaliser sur quelques groupes d'acteurs (segments de marché) seulement.

Un exemple de couple Produit/Marché figure ci-après pour le produit « appropriation de la connaissance spatialisée des sols » (Figure 35). Il inclut :

- Les clients.
- Le nom du produit ou service et sa description.
- Les éventuels demandeurs de ce client.
- La proposition de valeur, i.e. ce qui permet de différencier l'offre.
- Le modèle de revenu, c'est-à-dire la façon de créer de la valeur et de générer des revenus (par exemple freemium, unitaire, par abonnement, à la transaction, à la consommation, au temps passé, recettes publicitaires, etc.).
- Le canal de distribution des produits aux clients.
- La structure de coûts : quels sont les coûts de développement, de production et de commercialisation ?
- Les fonctionnalités incluses dans le produit ou service.

Figure 35 : Exemple de couple produit-service/client pour la cartographie des sols

Les autres couples services-produits/clients pouvant être définis sont par exemple la « connaissance spatialisée des sols » pour les commanditaires et les outils et méthodes de traitement pour les producteurs de cartographies.

Les activités-clés nécessaires à l'ensemble des offres sont la production de connaissance spatialisé sur les sols, la gestion et diffusion des données sol, et la formation ou expertise (pédologie, méthodes, utilisation, etc.)

Le canevas du modèle économique en Figure 36 représente de façon synthétique l'ensemble des modèles économiques des couples services-produits/clients, avec des informations supplémentaires sur les partenaires clés, les ressources clés et la relation clients. Les segments clientèles comprennent ici les commanditaires, producteurs de données et cartographies, gestionnaires et diffuseurs de données, utilisateurs, cités sous forme d'organismes. Ce canevas est valable pour le scénario actuel (SO1 « neutre »)

MODELE ECONOMIQUE : scénario S1 « neutre »

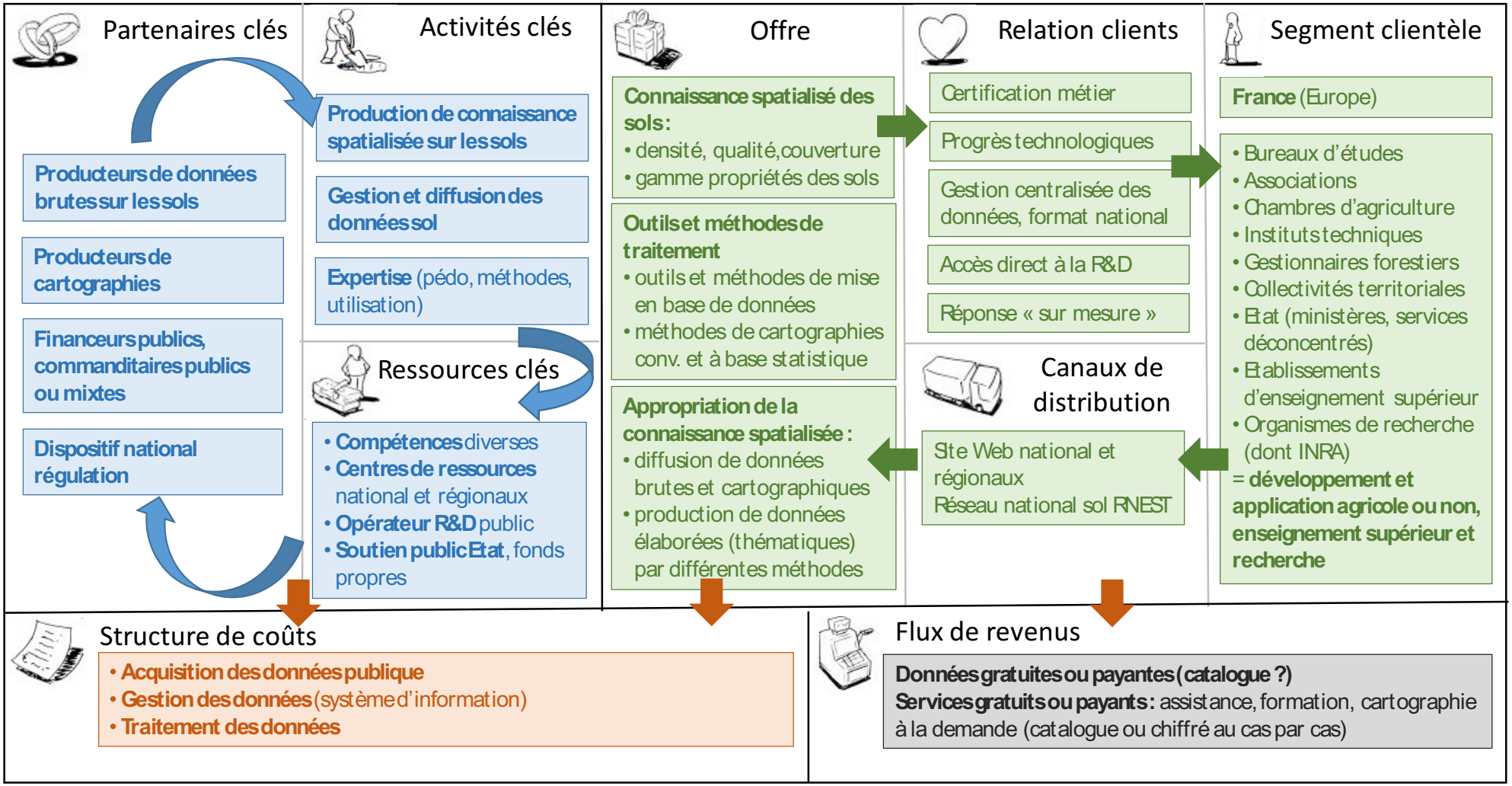


Figure 36 : Canevas du modèle économique pour le scénario actuel (SO1 « neutre)

5.2.7 Modèle économique selon les différents scénarios

Le canevas du modèle économique est à adapter pour chacun des scénarios, en fonction des différentes composantes. Ceux-ci peuvent varier d'une façon importante d'un scénario à l'autre :

- Les partenaires clés, avec notamment la nature des financeurs et commanditaires, et l'existence ou non d'un dispositif de régulation.
- Les activités clés, avec dans certains scénarios des données privées non diffusables et des diagnostics obligatoires ou non.
- Les ressources clés, avec la nature du centre de ressources (national/régional versus pluralité des intervenants), la nature de la R&D et les ressources financières (soutien public)
- L'offre ou valeur, qui porte sur les mêmes produits et services mais avec des niveaux qualitatifs et quantitatifs très différents (cf. paragraphe 4.5 évaluation des scénarios organisationnels)
- La relation est également très variable, avec l'existence ou non d'une certification métier, de progrès technologiques, d'une gestion centralisée des données et d'un format national, d'un accès direct à la R&D.
- Les segments clientèles sont a priori les mêmes, mais des variantes sont possibles selon la nature du marché (public ou privé).
- Les structures de coûts peuvent être très hétérogènes selon les produits et services offerts, avec des coûts d'acquisition, de gestion, de traitement, voire d'appui, validation et formation technique et de recherche et développement (cf. 5.1 Estimation des coûts des scénarios)
- Les flux de revenus ne concernent pas forcément directement les financeurs. Ces flux peuvent varier en fonction des produits et services, des choix faits ou imposés (données gratuites ou payantes, services gratuits ou payants, ainsi que des modèles de revenus (catalogue, prestation sur mesure, etc.).

La comparaison précise des modèles économiques des différents scénarios reste à faire. Une première évaluation est faite ci-dessous en détaillant deux composantes du modèle économique :

- L'offre, par l'intermédiaire de deux familles de critères portant sur la connaissance spatialisée des sols et l'appropriation des données sol par la société.
- Les structures de coûts reprenant les choix techniques pour chaque scénario.

5.3 Synthèse : l'évaluation multi-critère des scénarios

L'évaluation multi-critère, présentée ci-après, est de nature essentiellement qualitative et repose sur l'examen de l'adéquation des différents scénarios à l'objectif d'amélioration de la connaissance spatialisée des sols et de son appropriation par les utilisateurs. Nous considérons donc deux types de critères :

- Les critères relatifs à l'amélioration de la connaissance spatialisée des sols :
    - Nombre de données brutes par ha
    - Gamme de propriétés de sol cartographiées
    - Précision des données cartographiées
    - Régularité de la couverture du territoire national par les cartographies produites
    - Intensité de capitalisation de la connaissance produite (e.g. proportion des données et cartographies produites, capitalisées dans un ou des SI)
- Les critères relatifs à l'appropriation des données sol par la société
    - Emploi public ou privé dans le secteur de la cartographie des sols et de son utilisation

- Facilité d'accès aux données sol par les utilisateurs (interopérabilité des données, formation, traçabilité, ergonomie, maintenance, coût…)
- Taux de pénétration de la connaissance des sols dans les enjeux sociétaux (Diversité des utilisateurs et des applications thématiques, prise en compte dans normes et réglementations)
- Taux de pénétration dans la société (nombre de personnes formées au sol, nombre de sites web sur le sol et taux de fréquentation…)
- Visibilité et présence dans les programmes internationaux (*GlobalSoilMap*, Global Soil Partnership…)

Chaque membre du comité d'expert a apprécié pour chaque critère la capacité de progression favorable ou défavorable permise par les scénarios en comparaison de l'état de référence actuel. Cette évaluation est donc subjective, mais était la seule possible dans le délai imparti en ce qui concerne des scénarios prospectifs.

Le Tableau 3 résume les notes moyennes obtenues par chaque critère. Les notes, de la plus défavorable à la plus favorable, vont du rouge au vert en passant par l'orange, le bleu clair et le bleu roi. On notera que les cases hachurées correspondent aux notes les plus hétérogènes entre experts, ce qui témoigne d'avis divergents. Le tableau récapitule également les coûts de mise en œuvre des différents scénarios. Il donne une estimation grossière des produits-services pouvant être développés pour chaque scénario au vu de l'évaluation de l'offre. Les scénarios S2 puis S1, nécessitant certes des coûts d'investissement et de fonctionnement plus élevés, notamment pour l'Etat, seraient les plus favorables. Ils sont également susceptibles de générer plus de revenus, l'offre étant plus conséquente.

Scénario	**Neutre SO1**	**Tous pour le sol et le sol pour chacun SO2**	**Chacun son sol SO3**	**Chacun son sol avec régulation SO4**
Les critères relatifs à l'amélioration de la connaissance spatialisée des sols :				
Nombre de données brutes par ha	**1,3**	**2,8**	**1,8**	**1,5**
Gamme de propriétés de sol cartographiées	**2,1**	**2,9**	**0,6**	**1,5**
Précision des données cartographiées	**1,1**	**2,8**	**0,9**	**1,3**
Régularité de couverture du territoire national par les cartographies produites	**1,4**	**2,3**	**-0,4**	**-0,1**
Intensité de capitalisation de la connaissance produite	**1,3**	**2,5**	**-0,9**	**0,6**
Les critères relatifs à l'appropriation des données sol par la société				
Emploi public ou privé dans le secteur de la cartographie des sols et de son utilisation	**1,1**	**2,6**	**1,3**	**1,4**
Facilité d'accès aux données sol par les utilisateurs	**1,3**	**2,6**	**-1,0**	**0,1**

Taux de pénétration de la connaissance des sols dans les enjeux sociétaux	1,3	2,9	0,7	1,1
Taux de pénétration dans la société	1,3	2,9	0,8	0,8
Visibilité et présence dans les programmes internationaux	1,6	2,6	-1,1	-0,4
Le coût estimé (M€/an) Public =	**3,2**	**4,4**	**1**	**1,3**
sur 20 ans Privé =	**0**	**2,2**	**2,2**	**2,2**

Tableau 3 : Evaluation multicritère des scénarios organisationnels par rapport à l'état actuel de la cartographie des sols en France. La notation de chaque critère suit le principe suivant : 2 à 3 très bonne progression (vert), 1 à 2 bonne progression (bleu roi), 0 à 1 progression faible ou nulle (bleu clair), -1 à 0 recul (orange), -2 à -1 fort recul (rouge). Les cases quadrillées indiquent une grande variabilité, supérieure à deux classes, entre notateurs.

Synthèse de l'évaluation multicritère des scénarios :

- **Le scénario SO1 dit « Neutre »** est considéré moyennement favorable. Il poursuit à petits pas la progression du programme IGCS actuel. On en attend une homogénéisation de la connaissance pédologique au plan national sans escompter toutefois une précision qui permettrait de répondre aux nombreuses demandes exprimées. Par ailleurs il n'exercerait pas d'effet de levier nouveau pour, d'une part, faire prendre conscience à la société de l'importance de la protection et de la valorisation des ressources sol et, d'autre part, motiver l'investissement privé. Par construction, puisqu'il est dans le prolongement de la situation actuelle, il ne résoudrait pas les difficultés concernant la diffusion des données, la faiblesse de l'expertise pédologique disponible, le décalage entre le besoin en données sol à hautes résolution et précision et les données disponibles.
- **Le scénario SO2 dit « Tous pour le Sol et le Sol pour tous »** est évidemment le scénario perçu comme le plus favorable. Il implique un investissement public supérieur (de 30% par rapport au SO1) à l'échelle nationale, mais devrait aussi susciter un investissement complémentaire privé ou public significatif à l'échelle locale, motivé par une réglementation favorisant la caractérisation des sols et la capitalisation des données. Ce scénario permet de progresser de manière significative en termes de connaissance systématique des sols de France. Il n'aboutirait cependant pas à une connaissance à haute résolution et haute précision de la France telle que le serait une couverture généralisée au 1/50 000 ème.
- **Le scénario SO3, dit « Chacun son sol »** est celui qui est jugé le plus négativement. Aux plans de l'acquisition de données sol, de la précision des cartographies, de l'emploi et de l'appropriation de l'enjeu sol par la société, la perception de ce scénario n'est que légèrement inférieure à celle du SO1. Par contre, le fait que dans ce scénario le moteur de l'amélioration de la connaissance des sols dépend strictement de l'initiative privée et marchande fait craindre fortement un manque de capitalisation et de diffusion de la connaissance pédologique. Une grande difficulté de présence dans les instances internationale consacrées au sol est également anticipée en l'absence de capitalisation nationale. On peut noter qu'au plan financier l'effort global de ce scénario est similaire à celui du SO1 mais avec une contribution majoritaire du secteur privé.
- **Le scénario SO4, dit « Chacun son sol mais avec régulation »** correspond à une version régulée du SO3. Il est donc jugé plus favorablement que ce dernier. La régulation, notamment par la mise en place de procédures nationales de labellisation-qualification des produits cartographiques, doit favoriser la qualité des cartographies et limiter les effets négatifs supposés de la marchandisation des données sol sur la capitalisation et/ou l'accès aux donnés, tels que notés dans le SO3. De ce fait, il doit également, comme le scénario SO2, favoriser des investissements complémentaires locaux, publics et privés. Par contre, il n'est pas escompté que la régulation à elle seule corrige significativement les risques de déséquilibres territoriaux et les difficultés de présence internationale.

Une limite forte à l'évaluation comparative des scénarios est l'absence actuelle de travail de marketing qui analyse le potentiel d'investissements, du secteur privé ou du secteur public des collectivités territoriales, sur les sols et les leviers et freins à cet investissement. C'est pourquoi dans le Tableau 3 l'investissement privé est estimé constant pour les trois scénarios le considérant. Or, il nous semble que celui-ci ainsi que l'investissement des collectivités territoriales peuvent être dynamisés par l'existence d'un investissement public national renforcé (cas du SO2) qui fournit une base de travail pour les études locales détaillées et/ou par une régulation visant la capitalisation et la qualification des données cartographiques produites (cas du SO2 ou du SO4).

6 Synthèse et recommandations

Dans la décennie écoulée, on a assisté à deux évolutions apparemment contradictoires en ce qui concerne l'enjeu de connaissance des sols au plan national. D'une part, on a pu constater que l'enjeu de la protection et de bonne gestion des sols pénètre de plus en plus la société au plan médiatique mais aussi au plan des politiques publiques (e.g. initiative 4 pour mille, les sols agricoles pour la sécurité alimentaire et le climat, plan biodiversité, définition des zones défavorisées simples, plans locaux d'urbanisme, sécurité alimentaire) et que les besoins en données sol sont forts et croissants. Mais, d'autre part, les moyens d'intervention publique pour la cartographie des sols ont décru en raison de conditions économiques difficiles et, sans doute aussi, en raison d'une volonté générale de transférer une partie des missions de l'Etat au monde marchand, considéré plus efficace.

Les scénarios prospectifs envisagés dans ce rapport pour le développement de la connaissance des sols s'inscrivent dans ce contexte. Ils visent à améliorer la connaissance pour faciliter la prise en compte du sol dans de nombreuses problématiques. Et, tous les scénarios, sauf le scénario « Neutre » qui poursuit la situation actuelle, intègrent l'émergence d'une activité économique marchande favorisant l'acquisition de nouvelles données qui permettront d'accéder à une meilleure appréhension de la ressource en sol. La capacité de développement d'un secteur marchand de la donnée sol est toutefois une inconnue forte. De ce fait elle a été considérée quasi-constante entre les scénarios. La différence majeure entre les scénarios, au-delà des différences d'ambition technique, est le niveau d'intervention publique : i) absent pour le scénario SO3, ii) limité à des activités de régulation pour le scénario SO4 ou iii) allant pour le scénario SO2, en plus de la régulation, à un investissement fort complémentaire de celui escompté du secteur marchand. Les auteurs de ce rapport ont bien évidemment une préférence personnelle marquée pour l'ambition du scénario SO2. Ils considèrent toutefois qu'*a minima*, dans le cas où l'investissement privé doit prendre le relai du public, une régulation publique des activités de cartographie, dans l'esprit de celle du scénario SO4, doit être préservée, voire intensifiée.

Les propositions d'actions qui suivent ont donc pour objet d'accompagner les scénarios SO2 et SO4 ou tout intermédiaire. Par principe le *statu quo* du scénario SO1 n'implique pas d'action spécifique nouvelle. Par ailleurs l'abandon d'ambition publique sur les sols du scénario SO3 ne nous semblent pas pouvoir répondre aux besoins issus de l'état des lieux d'avancement et d'organisation de la cartographie des sols en France et des besoins exprimés dans l'enquête auprès des différentes catégories d'acteurs.

6.1 Amplifier l'acquisition et la capitalisation des données sol

Il s'agit là d'un besoin de premier ordre puisqu'il conditionne étroitement le niveau de connaissance de la variabilité des sols et donc l'utilisation qui peut en être faite pour de nombreux enjeux sociétaux, agronomiques, environnementaux et économiques. L'achèvement prochain des RRP procure une vision exhaustive des sols français avec une précision limitée et hétérogène qui peut aider à raisonner des politiques publiques nationales ou régionales, mais ne permet pas directement l'identification locale des sols et le conseil pour leur gestion. Deux actions sont envisagées pour progresser.

6.1.1 Financer un système d'information national sur les sols de France à une précision moyenne mais homogène et connue

Ce système se présenterait sous la forme d'une série de prédictions de propriété de sols avec intervalles de confiance établies sur une grille de résolution spatiale de 90 m, identique à celle de *GlobalSoilMap*. Il serait librement accessible à tous *via* un géo-portail. L'intérêt d'une telle couverture serait multiple.

- Répondre aux besoins en cartographie pédologique de planification et de réglementation (ex ZDS) des services de l'état sur des étendues spatiales correspondant au territoire national et aux territoires des régions et des départements.

- Remplir les obligations de la France en matière de fourniture d'information pédologique aux programmes d'inventaires internationaux (GlobalSoilMap, Global Soil Partnership, GEOSS…).
- Fournir une information pédologique de base pour faciliter les cartographies de sol plus précises entreprises à des échelles plus locales.

L'état actuel des connaissances nous permet d'avancer qu'un tel système d'information peut être construit à partir des Référentiels Régionaux Pédologiques actuels en cours de finition et d'harmonisation qu'il faudra enrichir par un échantillonnage spatial de nouveaux profils de façon à assurer une couverture minimum d'un profil par 2000 ha. A partir de ces informations, des approches de CSMS pourront être appliquées pour prédire les propriétés et leurs incertitudes associées.

6.1.2 Accompagner l'effort de cartographie pédologique aux échelles locales et la capitalisation des données

Les besoins en information pédologique des niveaux inférieurs au département (communautés de communes, agglomération, massifs forestiers, aires de captages d'eau potable, bassin de production agricole) ne sauraient être couverts par un système d'information national qui ne distingue pas avec suffisamment d'acuité les motifs d'organisation spatiale des sols importants à décrypter à ces niveaux. Il convient ainsi d'entreprendre des prospections pédologiques supplémentaires permettant d'atteindre localement les niveaux de précision requis.

Le cadre méthodologique de ces prospections pédologiques existe déjà dans sa version conventionnelle et certaines sont déjà entreprises dans les régions par des pédologues cartographes sous la forme de couvertures à moyenne échelle ou d'approches de type « secteurs de référence ». D'autres cadres méthodologiques émergent actuellement (Typterre, cahiers des charges d'études pédologiques d'aires de captage…). Nous proposons que cet effort soit accompagné par la puissance publique sous la forme d'un soutien financier minimum pour les commanditaires des études pédologiques réalisées aux échelles locales (prospection 1/50 000, secteurs de référence, études locales). Ce soutien devrait être le garant que les données recueillies puissent être rétrocédées à la collectivité pour des usages ultérieurs. Le soutien serait accordé après s'être assuré, par un comité de pilotage national, que la méthodologie envisagée est en adéquation avec les besoins et se fonde sur des cahiers des charges préétablis, garant d'une qualité minimale. La fourniture des données pédologiques issues de ces études sous forme d'un format national standard (DONESOL) serait une condition d'allocation des soutiens. Ce soutien financier ne doit pas être dissocié de l'effort à fournir concernant l'assistance des commanditaires par des experts pédologues et le soutien à un programme de R&D ambitieux pour conduire la transition depuis des approches conventionnelles vers des approches utilisant la CSMS (voir recommandations suivantes).

6.2 Approfondir l'organisation des acteurs et activités de cartographie des sols en France

Vu les besoins d'accompagnement et de régulation des activités cartographiques perçus dans l'enquête et dans l'analyse des scénarios organisationnels, plusieurs actions pourraient être entreprises.

6.2.1 Favoriser une organisation nationale des producteurs de données et de cartographies

Une difficulté actuelle pour le développement de nouvelles méthodes cartographiques, la diffusion des données déjà acquises ou la formation d'un marché de services est la dispersion et l'hétérogénéité des producteurs de cartographies. Il serait utile de favoriser leur regroupement dans une organisation nationale afin de les aider à unir leurs efforts pour l'ensemble des enjeux auxquels ils sont confrontés, notamment la reconnaissance de leur métier. Une telle organisation serait aussi un interlocuteur pour le GIS Sol et pour le réseau RNEST en émergence. Le RMT Sols&Territoires constitue une pré-figuration de cette organisation. Il aurait toutefois besoin d'être pérennisé et de rassembler de manière encore plus large.

6.2.2 Légitimer une instance nationale de régulation

L'ambition du développement de la cartographie des sols par l'utilisation de la CSMS va de pair avec une multiplication des acteurs de la cartographie et une multiplication probable des produits cartographiques sur un même territoire. Sans capitalisation des données acquises, sans définition de cahier des charges standards, sans capacité de certifier les compétences et qualifier les cartographies réalisées, la production et l'utilisation des données sols par les secteurs marchands ou publics ne pourra atteindre un développement optimal. C'est pourquoi il nous semble que la mise en place d'une instance de régulation au plan national serait nécessaire. Elle serait chargée de

- **valider des cahiers des clauses techniques pour les cartographies de sol**, de types conventionnelle ou à base de modélisation statistique,
- **définir les critères de qualification des produits cartographiques,**
- **assurer le suivi de l'état d'avancement cartographique** en parallèle d'une veille prospective des besoins.

Dans la situation actuelle, le CS IGCS assume déjà une partie des rôles d'une instance de régulation dans le cadre strict du programme IGCS. Mais selon le scénario pressenti d'évolution, l'instance suggérée pourrait avoir un rôle plus étendu et être sollicitée de manière optionnelle ou non sur l'ensemble des productions cartographiques.

6.2.3 Créer un centre de ressources national

Les besoins d'accompagnement des producteurs et utilisateurs de la cartographie des sols sont élevés. La constitution d'un centre de ressources permettrait de mutualiser et développer les moyens d'accompagnement. La forme de ce centre de ressources est à définir : réseau ou entité spécifique mais dans tous les cas avec des relais régionaux, incluant ou en interaction étroite avec l'US InfoSol INRA et collaborant avec les producteurs. Les rôles du centre seraient de

- **gérer le SI Sol national** en liaison avec les autres SI de données environnementales et géographiques et les autres SI internationaux,
- **établir un réseau d'expertise pédologique et cartographique inter-régional** qui assure l'assistance aux maitres d'ouvrage en région pour la qualification des produits cartographiques, voire pour une aide au suivi des études,
- **développer de la formation continue** à destination des producteurs et utilisateurs des données cartographiques des sols (et contribuer aux formations initiales de l'enseignement supérieur),
- **organiser les échanges et la synthèse des actions de R&D** en matière de cartographie des sols.

6.3 Améliorer la visibilité et les conditions de diffusion des données sol

Le mode de diffusion des données brutes et cartographiques est très hétérogène entre les producteurs tant au plan technique que de celui des politiques de mise à disposition. Malgré les efforts importants opérés par le GIS Sol et le RMT Sols&Territoires, la connaissance de l'existence de bases de données importantes sur les sols reste faible auprès des utilisateurs potentiels. De surcroît les procédures ou démarches d'accès sont non seulement extrêmement variables entre régions, mais aussi laborieuses pour certaines. Cette situation est peu compatible avec l'exigence de facilité d'accès et de réactivité exprimée couramment par les utilisateurs de données dans tous les domaines de la vie professionnelle ou citoyenne. **Il semble donc impératif d'envisager les conditions d'un portail national d'accès aux données avec des procédures homogénéisées et transparentes.**

6.4 Aider au développement d'un marché de produits services

La démarche d'accès au marché présentée ici à titre illustratif reste à compléter et à mettre en œuvre avec les différents acteurs de la cartographie des sols en France.

Le canevas de modèle économique proposé dans ce rapport est en effet très global et ne détaille pas les différentes couples produits-services –marchés pouvant être proposés, avec leurs canaux de distribution, leurs structures de coûts et les flux de revenus possibles. Il globalise aussi les différents niveaux d'organisation en cartographie des sols, alors que certaines relèvent du national, et d'autres des niveaux régionaux ou locaux.

Ce travail de marketing, relatif à la cartographie des sols en France, qui intègre aussi les autres questions soulevées dans les recommandations, comme l'acquisition des données, l'organisation ou les questions juridiques, pourrait être mené par le RMT « Sols et Territoires » et son réseau de producteurs de cartographies en région en lien avec le Gis Sol.

6.5 Eclaircir la question juridique

Les questions juridiques concernant l'acquisition, la diffusion et l'utilisation des données sol sont encore nombreuses. Dans de nombreux cas, elles imposent à l'utilisateur des données une certaine prise de risque juridique qui peut être un frein fort à la diffusion et l'utilisation des données. L'analyse juridique présentée dans ce rapport indique plusieurs besoins.

- **Approfondir la typologie des situations** afin de permettre aux différents acteurs de bien identifier le type de risques juridiques auxquels ils sont confrontés et de prendre des décisions en connaissance de cause sans sous ou sur-estimation des risques.
- **Identifier et soumettre les questions clefs** en suspens au sujet des données sol acquises sur mission publique **à la Commission d'accès aux documents administratifs** (CADA).
- **Poursuivre la déclaration de l'ensemble des systèmes d'information sur les sols à la Commission nationale Informatique et Libertés**. Le SI Sol national est déclaré mais de nombreux autres SI gérés régionalement ne le sont pas alors qu'ils incluent des informations pouvant être considérées d'ordre privé.

6.6 Soutenir la R&D en cartographie des sols sur les thèmes prioritaires suivants :

Le développement de la CSMS ne peut se concevoir sans qu'un appui en R&D soit maintenu et amplifié. On note en particulier les besoins suivants d'actions R&D.

- **Accompagner le développement de nouvelles méthodes d'acquisition de données pédologiques**. Deux corpus méthodologiques peuvent d'ores et déjà être évoqués.
    - Celui fondé sur l'existence d'outils de proxy et de télédétection déjà utilisés, notamment en agriculture de précision, qui sont une source potentielle de données quantitatives sur certaines propriétés de sol (ex taux d'argile, profondeur du sol, taux de carbone organique). Il s'agit de développer des méthodes de traitements et d'interprétation des signaux (ex : résistivimétrie, gamma-radiométrie, spectrométrie Visible Infra Rouge) fondées sur des bases de données couplant caractéristiques de sol et mesures normalisées de signaux géophysiques. Ces bases restent à développer sur le modèle des bibliothèques existantes de spectrométrie de sol (LUCAS ou RMQS).
    - Celui fondé sur des démarches participatives d'observation et de mesures sur les sols effectuées par les acteurs locaux. Des outils de saisie sur support accessible (ex : smartphone) sont déjà envisagés et en cours de développement pour faire remonter l'information vers les bases de données sol. Leur utilisation sera effective lorsqu'auront été surmontés les problèmes importants de codification, de stabilisation des protocoles, de qualification et d'harmonisation de données recueillies par de multiples acteurs, avec une grande variété de conditions d'observation du sol et de niveaux d'expertise.

- **Conduire la transition depuis les techniques cartographiques existantes vers des démarches de CSMS intégrant les savoirs faire et l'expertise pédologique** mais aussi les nouvelles technologies d'acquisition de données sol fondées sur des outils de proxy et télédétection ainsi que les approches participatives sur les sols (cf. point précédent). Un point particulier est le développement des méthodes d'extrapolation à partir de secteurs de références afin de disposer d'approches de généralisation des études cartographiques à haute résolution effectuées sur de faibles surfaces. Ceci est en appui des scénarios techniques incluant la prospection de secteurs de références.
- **Développer des méthodes d'estimation, de représentation et d'appropriation de l'incertitude des cartographies produites** afin de permettre une qualification objective de celles-ci. Pour l'heure, les CSMS produisent des estimations d'incertitude, mais les méthodologies d'estimation ont besoin d'être validées, voire améliorées, afin que l'incertitude estimée puisse être considérée fiable. Par ailleurs, un enjeu particulier est de rechercher des modes de communication efficace sur les incertitudes cartographiques puisque l'échelle ou la résolution de restitution de la cartographie devient à présent indépendante de la notion de précision.

6.7 Développer la coopération avec les autres acteurs européens et internationaux

Le développement de la coopération avec les autres acteurs internationaux est essentiel pour de multiples raisons, notamment i) l'existence d'enjeux environnementaux supra-nationaux qui nécessitent le partage partiel ou total et l'inter-opérabilité à termes des bases de données nationales ou ii) la veille technologique dans un domaine en forte évolution. Il est ainsi difficile d'envisager que le scénario SO3, voire le scénario SO4, permettent à la France un positionnement aussi fort que par le passé. Celui-ci a été acquis grâce au soutien national et public aux programmes du GIS Sol et à la constitution d'un réseau de producteurs en relation avec ces programmes. Les recommandations suivantes en matière de développement de coopération ne nous semblent donc envisageables que dans le contexte d'un scénario proche ou intermédiaire aux scénarios SO1 et SO2.

- **Maintenir et soutenir le leadership de la France** dans l'initiative internationale *GlobalSoilMap.*
- **Rechercher l'intégration du consortium *GlobalSoilMap* dans le pilier 4 du Global Soil Partnership** comme une composante de recherche et développement de ce dernier.
- **Réaliser des harmonisations avec les pays frontaliers** dans le cadre de programmes européens (Interreg).
- **Continuer à s'impliquer dans le European Soil Partnership** en particulier dans les actions du pilier 4.
- **S'impliquer dans l'élaboration de programmes de recherches européens** ayant une composante de cartographie des sols.
- **Favoriser la collaboration et le transfert de technologie vers les pays du Sud**, en particulier au travers de programmes bilatéraux.

7 Liste des abréviations

BDAT : Base de données d'analyses de terre

BDGSE : Base de données géographiques

BDGSF : Base de données géographiques

CCTG : Cahier des clauses techniques générales

CDTA : Carte des terres agricoles

CPCS : Commission de pédologie et de classification des sols

CPF : Carte pédologique de France

CSMS : Carte des sols à base de modélisation statistique

DSM : Digital Soil Mapping

FAO : Food and Agriculture Organization

GIS : Groupement d'intérêt scientifique

GSP : Global Soil Partnership

HCG : Haut Comité de Groupement

IGCS : Programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols du GIS Sol

IGN : Institut géographique national

IIASA : International institute for applied systems analysis

INRA : Institut national de la recherche agronomique

INSII : International Network of Soil Information Institutions

ISRIC : International Soil Reference and Information Centre

MNT : Modèle numérique de terrain

PRA : Petite région agricole

RNEST : Réseau National d'Expertise sur les Sols

RMQS : réseau de mesure de la qualité des sols

RMT : Réseau mixte technologique

RRP : Référentiel pédologique régional

ZDS : Zone défavorisée simple

8 Liste des annexes

Annexe 1: Rappel des conclusions de l'enquête auprès des producteurs et utilisateurs de données sol 86

Annexe 2: CR séminaire juin 2017 88

Annexe 3: Estimation du coût de réalisation et d'analyse de profils pédologiques 103

Annexe 4: Analyse détaillée du cadre juridique des données IGCS et RMQS de la base Donesol 106

Annexe 1: Rappel des conclusions de l'enquête auprès des producteurs et utilisateurs de données sol

L'enquête, par le taux élevé de réponses obtenues et la diversité des répondants, fournit une image que l'on peut considérer représentative des opinions des producteurs et utilisateurs de la cartographie des sols en France sur les besoins, difficultés et souhaits d'évolution en matière de cartographie des sols. De nombreux éléments de réflexion ressortent de l'enquête et divers besoins émergent en termes de formation, de communication, de diffusion, d'acquisition de nouvelles données et de définition de gouvernance et de modèle économique. Les éléments cités ici sont ceux retenus dans la conclusion de l'enquête :

- **La cartographie des sols, qu'elle soit sous forme conventionnelle ou numérique, souffre d'un manque de notoriété certain**. Des efforts de communication vers un public plus varié sont à développer. Bien qu'elle semble encore peu connue, la cartographie numérique suscite un intérêt certain qui mérite une meilleure communication et sans doute un accompagnement.
- **Une assez bonne adéquation entre la production des données cartographiques et la demande des utilisateurs est apparue**. Toutefois certaines combinaisons entre milieux et thématiques restent relativement sous-exploitées, voire à explorer entièrement. On note en particulier une sous valorisation des thématiques liées aux milieux urbains et péri-urbains. La santé et les risques naturels figurent parmi les enjeux qui restent en grande partie à explorer.
- **L'étape d'acquisition de données pédologiques, préalable à tout traitement cartographique, est cruciale et doit être poursuivie et renforcée**. Ceci est confirmé par la majorité des producteurs qui sont conscients des limites de précision inhérentes à l'état des bases de données déjà acquises, pourtant déjà importantes. Outre le renforcement des données au plan de leur densité spatiale, des améliorations qualitatives de l'acquisition de données initiales apparaissent souhaitables. Ainsi, la détermination de certaines propriétés de sol nécessiterait des évolutions métrologiques ou méthodologiques pour augmenter la précision des données recueillies et mieux les exploiter. Des données connexes, comme celles concernant les usages et les pratiques, passés ou présents, devraient être acquises en parallèle des opérations de cartographie des sols, afin de permettre une valorisation beaucoup plus efficace des cartes de sol.
- **Les producteurs et utilisateurs de données cartographiques sur les sols ont besoin d'être accompagnés** pour la production et l'utilisation de ces données, notamment dans le cadre du développement de méthodologies numériques. Des manques de compétences en statistiques et de réflexion partagée sur les méthodes cartographiques en général émergent de l'enquête, ainsi qu'un relatif isolement dans le pilotage des études pédologiques.
- **La validation des données cartographiques produites et l'estimation de leur incertitude sont peu développées** alors même que les enquêtés leur attribuent un intérêt marqué. Il s'agit là d'une question importante, qui mériterait l'ouverture d'un chantier particulier en termes de méthodes et de procédures de qualification de la qualité des cartographies produites.
- **Le mode de diffusion des données brutes et cartographiques est très hétérogène entre les producteurs tant au plan technique que de celui des politiques de mise à disposition**. Cette situation est certainement un handicap pour la diffusion des données vers les utilisateurs. Le développement de procédures et méthodes mutualisées entre les producteurs pour les aider dans leur tâche de diffusion et pour faciliter l'appropriation des données par les utilisateurs par la standardisation de protocoles serait souhaitable. Pour l'organisation de la diffusion, la gestion interne apparaît privilégiée pour l'instant. Il n'y a pas de refus *a priori* d'accessibilité libre des données brutes sans que celle-ci soit pour autant plébiscitée. La nature de la diffusion fait l'objet d'une divergence de réponses entre producteurs et utilisateurs, les seconds ne requérant en majorité qu'une diffusion

de données brutes tandis que les premiers envisagent une diffusion de données traitées permettant de mieux valoriser leur travail.

- **Le modèle économique souhaité par les producteurs et les utilisateurs est en majorité celui de soutiens publics pour l'acquisition des données brutes et de développement de services payants d'accompagnement et/ou de traitement pour produire des données élaborées**. Il correspond à un souhait de stabilisation du modèle actuel, en contradiction avec l'évolution négative en cours des moyens d'intervention publique.
- **Au plan de la gouvernance, peu d'éléments concrets sont apportés par l'enquête. Mais ce qui précède suggère qu'il serait nécessaire de conserver une organisation structurée au plan national, sans toutefois qu'elle soit nécessairement centralisée**. Il y a le besoin apparent d'organiser au plan national les méthodes de cartographie des sols, les outils et méthodes constitution de bases de données, les outils de diffusion, mais aussi celui de permettre aux acteurs régionaux, producteurs des données actuelles et à venir, de valoriser leur expertise, de maîtriser la diffusion effective des données, et d'élargir la proposition de services associés.

Annexe 2: CR séminaire juin 2017

Compte-rendu du séminaire sur « Les perspectives d'évolution de la cartographie des sols en France »

Le 12 juin 2017, au Centre-siège de l'INRA, 147 rue de l'Université, Paris 7e

Ce séminaire a été organisé par le conseil scientifique du programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS) du Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) Sol et le Réseau Mixte Technologique (RMT) « Sols et Territoires ». Il s'inscrit dans le cadre de la réflexion engagée pour définir un nouveau cahier des charges de la cartographie des sols en France. Les objectifs du séminaire étaient

- de présenter et discuter les résultats d'une enquête réalisée auprès des utilisateurs et des producteurs de données et cartes pédologiques sur leurs besoins et difficultés,
- de débattre de quatre questions au cœur de la définition du cahier des charges visé.

L'événement a rassemblé une quarantaine de participants concernés par la connaissance des sols et issus des secteurs privés, publics et académiques (voir liste des inscrits en annexe de ce CR).

Sommaire

1. Rappel du programme du séminaire
2. Restitution des débats de la matinée et des ateliers

PROGRAMME du séminaire

9h30 : Accueil

9h45 - 13h : Une matinée en séance plénière : restitution et discussion des résultats de l'étude nationale « Perspectives d'évolution des programmes de cartographie des sols en France » :

- 9h45-10h15 : Introduction : contexte et objectifs du séminaire (*JL Fort et M Voltz*)
- 10h15-11h : Etat des lieux sur les démarches de cartographie des sols en cours et en devenir (*P Lagacherie, D Arrouays, B Lemercier)*
- Présentation et discussion des résultats de l'enquête : (*animation M Bardy*)
  - 11h-11h20 : Méthodologie suivie (*A Richer de Forges*)
  - 11h20-11h45 : Les données et les besoins (*D Arrouays, A Richer de Forges, P Lagacherie)*
  - 11h45-12h10 : Les traitements (*B Laroche et B Lemercier*)
  - 12h10-12h35 : Diffusion, modèle économique, gouvernance (*M Voltz, J. Sauter, M.F. Slak, M. Bardy,)*
  - 12h35-13h : Discussion générale

13h - 14h : Repas

14h - 15h30 : Répartition en ateliers de travail dans des salles distinctes:

- **Atelier 1** : Quels sont les besoins en termes de thématiques, de variables pédologiques, de résolution et de connaissance des incertitudes ?
  (animation : A. Bispo / secrétariat : D Arrouays, A Richer de Forges)

- **Atelier 2** : Quelles sont les attentes et difficultés ressenties pour le développement de la CNS ? Quels seraient les accompagnements techniques nécessaires (outils, formation…) ?
  (animation : C Walter / secrétariat : P Lagacherie)

- **Atelier 3** : Quels sont les modèles économiques envisagés pour l'inventaire pédologique (cartographie traditionnelle et CNS) ?
  (animation : JL Fort / secrétariat : B Laroche, M Bardy)

- **Atelier 4** : Quelle serait la gouvernance des programmes de cartographie au plan national ?
  (animation : JP Grelot / secrétariat : V. Antoni, B Lemercier)

15h30 - 16h : Pause et retour dans l'amphi

16h - 17h : Restitution des ateliers et clôture du séminaire (animation M Voltz)

Eléments de débats lors de la discussion générale de la séance matinale : des suggestions d'actions et/ou points de vigilance

Animatrice : Marion Bardy (INRA, InfoSol)

Secrétaire : Marc Voltz (INRA, UMR LISAH)

La discussion générale en fin de matinée a permis d'éclaircir des questions de compréhension apparues lors des exposés. Elle a aussi conduit à l'émergence de quelques suggestions d'action et/ou de points de vigilance qu'il convient de citer car ils n'ont pas tous été repris dans les ateliers :

3. Nécessité d'affichage de l'incertitude des estimations des propriétés des sols produites par les méthodologies de cartographie numérique. Cela pose un problème pédagogique. L'affichage d'une incertitude quantitative brute est souvent peu explicite si elle n'est pas resituée dans le cadre d'une application donnée. Une réflexion est aussi à mener sur le mode de visualisation cartographique le plus adéquat.
4. L'analyse des modèles économiques actuels et souhaités qui a été conduite au travers de l'enquête serait sans doute à compléter par une vraie étude de marché des données pédologiques. Des méthodologies existent mais nécessitent des moyens spécifiques.
5. Le lien producteur-commanditaire apparaît actuellement insuffisant et serait à renforcer
6. La question de la valeur patrimoniale du sol a été soulevée car son estimation aiderait à une meilleure prise en compte de sa préservation par les élus.
7. Il est suggéré d'examiner également les stratégies d'acquisition de données sol et de cartographie pédologique dans d'autres pays voisins, au plan européen.

Restitution de l'atelier 1 : Quels sont les besoins en termes de thématiques, de variables pédologiques, de résolution et de connaissance des incertitudes ?

Animateur : Antonio Bispo (ADEME)

Secrétaires : Dominique Arrouays (INRA, UR InfoSol), Anne Richer de Forges (INRA, UR InfoSol)

Autres participants :

Alain Bouthier (Arvalis)

Thomas Brusten (CNPF)

Jean-Yves Cahurel (IFV)

Ahmed Chafchafi (CRA AURA)

Johan Cherel (SCE)

Francesca Degan (ACTA)

Franck Eymery (Agence nationale de sécurité sanitaire - phytopharmacovigilance)

Florence Gohon (CRPF Normandie)

Hervé Nédélec (Chambre d'Agriculture du Loiret)

Isabelle Ouillon (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation)

Emmanuelle Vaudour (AgroParistech, UMR ECOSYS)

Les besoins en termes de thématiques

Les typologies des thématiques, enjeux et variables présentées en séance plénière ont été discutées et semblent correspondre à une réalité. En conséquence, les discussions ont surtout porté sur des besoins concernant des thématiques ou des enjeux considérés comme insuffisamment traités. Un déficit de production de cartes est particulièrement ressenti dans 4 grands domaines thématiques :

Potentiel de production des sols, milieu péri-urbain

Le potentiel agronomique des sols est une thématique importante notamment en zone péri-urbaine en lien avec la menace d'artificialisation du territoire.

Cette thématique du potentiel de production permettrait aussi d'augmenter la prise en compte des sols dans l'élaboration de références pour l'implantation de sites d'essais et pour l'interprétation de leurs résultats ainsi que l'évaluation de leurs domaines de validité.

Plus généralement, en termes de pression urbaine et d'artificialisation, une cartographie de l'ensemble des services écosystémiques rendus par les sols serait un atout majeur pour la gestion territoriale des changements d'occupations.

Forêt, agriculture, changement climatique et gestion de la fertilité

Pour le changement climatique, le rôle des producteurs de données devrait être de fournir des données d'entrée adaptées pour les modèles de bilan, qu'il s'agisse de bilans hydriques, de bilans minéraux, ou de bilans de carbone et de gaz à effet de serre, ainsi que des données adaptées au fonctionnement de modèles de cultures.

Transfert de contaminant et santé

Concernant la qualité des sols et sa relation avec la santé humaine, un premier besoin émerge sur l'accumulation des ETM dans les chaînes alimentaires (avec l'exemple du Cadmium dans le blé tendre). Il serait utile de connaitre les sols présentant des risques de transfert plus importants sur lesquels il faudrait adapter certaines pratiques (gestion des amendements, choix des cultures et des variétés). Une très forte demande est faite sur les produits phyto-pharmaceutiques (450 substances) avec un besoin important d'une vision de la contamination des sols et de son impact sur la santé et sur la biodiversité, notamment au travers de cartographies de « bruit de fond ». Dans ce sens, une discussion est à mener entre le GIS Sol et l'ANSES. Dans ce cadre, il ressort également des besoins en données sur les propriétés des sols influant sur la dynamique et la disponibilité de ces molécules (carbone, texture, RU, fonctionnement hydrique…) afin de pouvoir appliquer des modèles utilisés dans les tests préalables à mise sur le marché de ces produits.

Disposer de la gamme de variation de -certains paramètres (carbone, Kd/Koc, texture, RU, type de fonctionnements hydriques) permettrait de réaliser des simulations à la fois pour les situations les plus fréquentes, mais également de mettre en évidence des situations présentant des risques particuliers. Il s'agit donc d'un exemple typique où la connaissance des distributions conjointes de propriétés serait particulièrement utile. Pour les transferts des contaminants, notamment vers les captages, un besoin de données à l'échelle locale ressort fortement.

Eau (bilan hydrique, gestion de l'eau en bassin versant, gestion des captages)

La protection des captages est un sujet sensible avec beaucoup de questions portant sur la prise en compte du sol dans les modèles de transferts de polluants vers les milieux aquatiques. Il existe une trentaine de modèles prenant en compte des paramètres sols de façon variée.

Au plan des bilans hydriques, des cartes de réservoir utilisable (RU) sont très attendues avec prise en compte des éléments grossiers (abondance et nature), des remontées capillaires, de la profondeur du sol et de l'enracinement. Il apparaît que l'enracinement est actuellement peu (voire pas du tout) considéré alors qu'il existe des données potentiellement exploitables dans les observations de profils de sol. L'enracinement pourrait à lui seul faire l'objet d'applications thématiques comme une carte d'enracinement potentiel pouvant évoluer en fonction de la culture en place, de son développement et du climat. Il est rappelé que le potentiel d'enracinement maximal des cultures est un des paramètres préconisés dans le programme *GlobalsoilMap*.

Il existe un besoin très fort de connaissance des propriétés des sols pour la gestion quantitative de l'eau à l'échelle des bassins versants, en particulier en matière d'irrigation. Ce besoin peut se décliner à toutes les échelles, mais une échelle d'action privilégiée est constituée par des unités de gestion comme les petits bassins versants ou les surfaces bénéficiant d'eau en provenance de retenues collinaires.

D'autres besoins agronomiques forts émergent sur le comportement hydrique des sols avec la prévision des durées de ressuyage et du tassement.

Les besoins en termes de variables pédologiques

De ces thématiques demandées, découle la nécessité d'acquérir une série de variables pédologiques.

Il y a bien sûr les variables classiquement acquises en cartographie des sols par exemple pour alimenter les modèles de transfert de polluants.

Il ressort également un besoin de collecter des variables nécessaires au calcul du RU ou de l'enracinement. Les variables à obtenir peuvent être issues de l'observation ou de l'analyse directe des sols consignées dans les bases de données pédologiques, ou être obtenues indirectement (proxy ou télédétection). Ces propriétés indirectes peuvent également servir à valider les prédictions, comme par exemple le rendement en année sèche ou des données de télédétection pour valider les estimations du RU (référence aux travaux en cours dans le programme ANR RUEdesSOLS).

Des données sur la capacité et la vitesse de réchauffement des sols permettraient d'alimenter des modèles de dates de semis, de prédiction du développement et de calage du calendrier des récoltes. Les variables nécessaires dans ce cas seraient par exemple l'albédo, l'abondance des éléments grossiers. Pour ces variables, les données de télédétection offrent un bon potentiel d'utilisation comme « proxys » ou comme covariables utilisées dans des modèles prédictifs.

Des données sur la biodiversité des sols (ou, indirectement, sur les paramètres du sol influant cette biodiversité) sont aussi très attendues.

Pour acquérir de nouvelles données, les sciences participatives pourraient être une source de production intéressante, couplées à des outils de sélection de types de sols simplifiés (comme Typesol ou Mysoil en Grande-Bretagne) ou de photographie des sols *via* un portable.

Les besoins en termes de résolution et de connaissance des incertitudes

Il ressort de l'expression des besoins que des informations à toutes les échelles sont nécessaires. Des données nationales permettent d'avoir une vision globale et des références. Des données précises au niveau de la parcelle permettent d'avoir des outils pratiques d'application et d'aide à la décision pour l'agriculteur ou le technicien. Des échelles cartographiques moyennes (1/100 000 à 1/50 000) ou plus généralement une connaissance de la variabilité des sols à une résolution allant de 50 à 100 mètres, semblent également très demandées afin de permettre une gestion ou une analyse territorialisée relativement fine.

Il ressort également des besoins d'information sur les incertitudes et sur les distributions statistiques, même si leur production et leur utilisation pose encore question.

Les besoins d'autres variables et d'interopérabilité des données sols

Pour de très nombreuses applications un croisement d'information avec les données d'occupation et d'usage du sol serait souhaitable, notamment au niveau parcellaire avec prise en compte des systèmes culturaux et des pratiques agricoles. Ce besoin concerne la gestion actuelle, mais également dans de nombreux cas l'historique des occupations et des usages.

L'accès aux données disponibles

L'existant semble peu connu et un gros effort de communication sur les données existantes semble essentiel. Les guichets fournisseurs des données sols ne sont pas encore bien identifiés. Il y a par exemple un gros déficit de communication sur les outils du GIS Sol permettant de consulter la liste des études pédologiques existantes.

Lorsque les données existent et sont bien identifiées, l'accès aux données brutes ou cartographiques est très difficile. Cette difficulté est renforcée par la lourdeur et le temps des conventionnements multiples car chaque producteur de données a sa propre politique de diffusion.

Par contre, le paiement n'est pas nécessairement identifié comme un frein à la diffusion des données.

La question de la capitalisation des données acquises sur commandes publiques s'est posée. Les bureaux d'études manquent de temps pour saisir ces données dans les bases de données adaptées et les centraliser. Le message doit être passé vers les commanditaires afin d'inclure la demande de capitalisation des données dans les commandes publiques.

Restitution de l'atelier 2 : Quelles sont les attentes et difficultés ressenties pour le développement de la CNS ? Quels seraient les accompagnements techniques nécessaires (outils, formation…) ?

Animateur : Christian Walter (AGROCAMPUS OUEST)

Secrétaires de séance : Philippe Lagacherie (Inra, UMR LISAH Montpellier)

Autres participants :

François Laveissière (Altermap)

Joël Moulin (CDA 36)

Noémie Pousse (ONF)

Nicolas Saby (INRA)

Arnaud Vautier (CDA 58)

X non identifié

L'atelier a réuni 8 participants. Deux méta-plans ont été organisés pour traiter collectivement les deux grandes questions ciblées par l'atelier. Pour chacun de ces méta-plans, les participants ont avancé trois avis (formulés sur post-it) qui leur paraissaient les plus importants à afficher. Une synthèse de ces avis a été ensuite réalisée en séance.

Quelles sont les attentes et difficultés ressenties pour le développement de la CNS ?

L'atelier a surtout répondu à la deuxième partie de la question en inventoriant les limites qui freinent encore le développement de la CNS en France. Trois types de limites ont été identifiés :

Limites vis-à-vis de la méthodologie CNS

Le point de convergence principal porte sur la difficulté des producteurs de données sols à s'approprier les méthodes de CNS (6 avis). Ces méthodes sont perçues comme très diverses et il n'est pas facile de choisir les meilleures à appliquer pour un contexte donné. La connaissance de ces méthodes et de leurs conditions d'application reste limitée à un noyau assez restreint d'agents évoluant dans la recherche. Il est noté le déficit en formation, initiale et continue. D'ailleurs, les chercheurs éprouvent des difficultés à recruter des étudiants ayant une formation suffisante pour assurer les développements méthodologiques.

Au-delà de ce déficit d'appropriation, il est noté :

- Des verrous scientifiques qui restent à lever pour pouvoir cartographier certaines propriétés et indicateurs. L'exemple évoqué est l'utilisation de données pédologiques anciennes pour la CNS de propriétés réputées variables dans le temps. Il est par ailleurs souligné que les performances de la CNS resteront limitées dans des secteurs où la couverture pédologique est complexe avec des changements sur des distances très faibles (difficulté non spécifique à la CNS).
- Des difficultés techniques liées à des accès limités à des ressources de calcul suffisantes pour appliquer les méthodes de CNS, surtout si elles sont appliquées à de grands territoires.

Limites vis à vis des données utilisées par la CNS

A la quasi-unanimité (7 avis), le déficit en données pédologiques compatibles avec une utilisation de la CNS est ressenti comme une limite essentielle de la CNS. Il est noté la difficulté d'obtenir des données quantitatives et homogènes, tant spatialement (répartition régulière sur le territoire) que sémantiquement (même méthodes de mesure, même âge).

Un participant évoque également la difficulté d'obtenir des données précises et homogènes (MNT et dérivés, carte géologiques numérisées, images de télédétection…) pour construire les prédicteurs de propriétés de sol.

Déficit de communication

4 avis insistent sur la difficulté de convaincre des décideurs à investir, surtout de façon pluri-annuelle, sur la CNS pour améliorer la connaissance des sols. C'est d'autant plus vrai dans des régions où, historiquement, les investissements en cartographie pédologique ont été importants (couvertures systématiques à moyenne ou grande échelle) et où l'opinion des décideurs est que ces données sont suffisantes pour résoudre les questions qui se posent.

Plus spécifiquement, un avis souligne la difficulté à communiquer sur l'incertitude associée aux prédictions de sol par CNS, sachant qu'il existe une réticence persistante à prendre en compte cette incertitude dans les décisions prises à partir d'une carte de sol.

Quels seraient les accompagnements techniques nécessaires ?

Pour lever les limites évoquées ci-dessus, plusieurs idées ont été avancées. Elles sont regroupées ci-après en cinq items.

Transférer les compétences en CNS

Cet aspect a été massivement évoqué (8 avis). Selon les participants, différents moyens de transfert de compétences ont été évoqués : guide méthodologique, forum d'utilisateurs, méthodes de CNS standardisées pouvant être implémentées sur un Web Service, covariables prêtes à l'emploi disponibles sur un serveur, sessions de formation courtes.

Plusieurs participants (3 avis), rejoints en discussion par les autres participants, ont évoqué la nécessité d'un **centre de ressource sur la CNS** qui pourrait couvrir l'ensemble de ces besoins.

Etre pro-actif sur l'acquisition des données pédologiques pour la CNS.

Deux idées ont été avancées dans ce sens :

- Financer un échantillonnage spatial systématique de sites avec mesures de propriétés des sols sur les territoires à cartographier. Cet échantillonnage devrait respecter la nécessité d'avoir de bonnes propriétés statistiques. Il pourrait servir entre autres aux opérations de validation des travaux de CNS. Pour cela, la localisation des sites devrait rester confidentielle.
- Imposer dans les cahiers des charges d'études pédologiques appliquées (ex : pour l'épandage, pour la protection d'aires de captage,…) une collecte normalisée des données pédologiques et une fourniture de ces données à des bases de données régionales et nationales selon le format en vigueur (DONESOL). Les surcoûts de cette contrainte devraient logiquement être assumés par des financements supplémentaires, d'origine publique.

Mutualiser les efforts de recherche

La poursuite des efforts de recherche est jugée nécessaire pour lever les verrous méthodologiques restant. Le fonctionnement en groupe de travail, en réseau et en participation croisée à des projets de recherche, déjà largement en vigueur, est préconisé.

Adapter les produits CNS aux besoins des utilisateurs

Un avis avance qu'il ne peut pas être fait l'économie d'une analyse fine des enjeux d'utilisation des produits de la CNS pour pouvoir adapter au mieux la forme de communication de ces produits aux utilisateurs. A ce titre, la grille GlobalSoilMap présentée en séance du matin est apparue trop détaillée pour certaines utilisations. Une réflexion sur des simplifications et des agrégations spatiales de cette grille est jugée nécessaire.

NB : une discussion en séance hors atelier sur la façon de communiquer l'incertitude estimée par la CNS relève également de cette préoccupation.

Organiser le faire savoir autour de la CNS

Il apparaît que présenter les produits de CNS n'est pas suffisant. Trois avis suggèrent la réalisation et la diffusion d'applications exemplaires utilisant des données de CNS qui pourraient convaincre les décideurs et utilisateurs potentiels de la valeur ajoutée de la CNS vis-à-vis des approches traditionnelles.

Des produits de communications spécifiques vers les utilisateurs sont jugés nécessaires, à partir de ces applications exemplaires. Un participant à l'atelier suggère également d'organiser un concours d'utilisateurs autour de l'utilisation de données CNS, à la fois pour promouvoir leur utilisation et pour élargir la gamme d'idées d'utilisation. Notons que ce pourrait être également une bonne technique de formation à la CNS.

Restitution de l'atelier 3 : Quels sont les modèles économiques envisagés pour l'inventaire pédologique (cartographie traditionnelle et CNS) ?

Animateur : Jean-Luc Fort (CRA Nouvelle Aquitaine)

Secrétaires de séance : Marion Bardy (INRA, US InfoSol), Bertrand Laroche (INRA, US InfoSol)

Participants :

Olivier Suc (CA Somme)

Agnès Desoindre (MAA)

Olivier Scheurer (UniLaSalle)

Véronique Genevois (VertAgroSup)

Isabelle Cadart (AFB)

Nathalie Schnebelen (INRA, Département EA)

Chantal Gascuel (INRA, DS Environnement)

Coline Eychene (Soltracing)

La diversité des intervenants (public/privé ; producteurs ; utilisateurs ; porteurs de besoins) a permis de travailler sur la chaîne de valeur au travers des expériences de chacun et ainsi d'arriver à construire des premières pistes de réflexion quant aux modèles économiques envisagés pour la cartographie des sols.

Chaîne de valeurs

Le travail sur la chaîne de valeurs a débuté par une identification plus claire des différents acteurs intervenant dans l'inventaire pédologique, complétée par un positionnement de ces acteurs dans la chaîne de production des données pédologiques de la production de la donnée à son utilisation finale (prise de décision).

Cette première formalisation est présentée sous la forme de la figure ci-dessous.

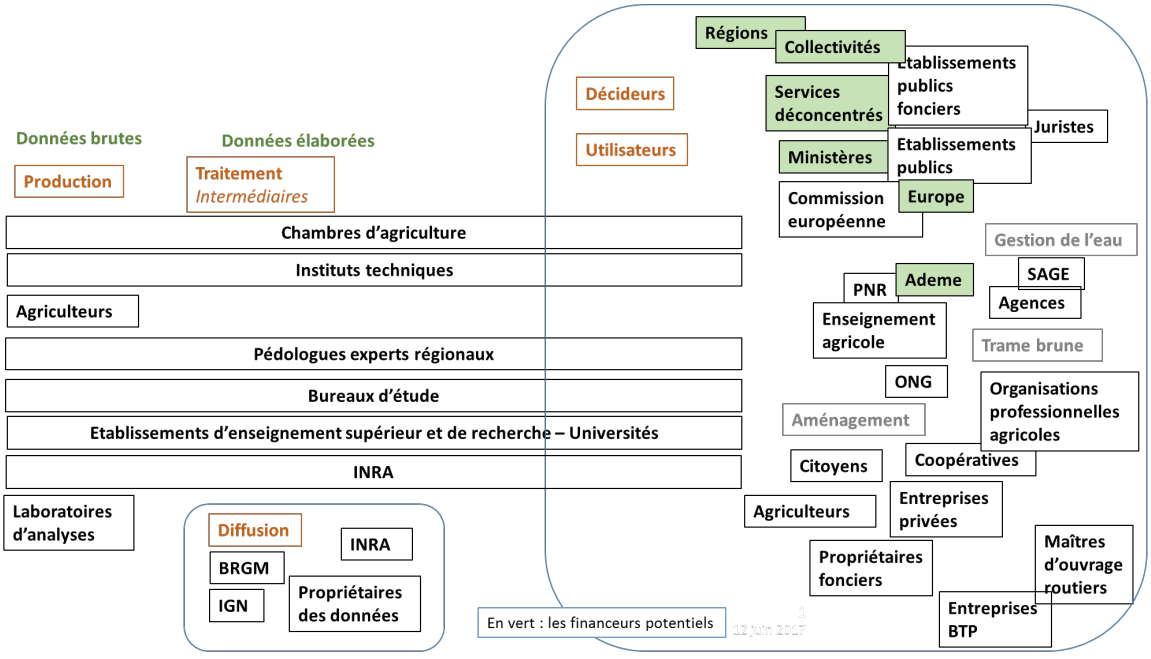


Figure : Structuration des acteurs de la cartographie des sols

Le premier constat est la difficulté de contraindre les acteurs à être confinés dans telle ou telle case, ils sont souvent des maillons intervenant à différentes étapes de la construction d'une carte pédologique (traditionnelle ou numérique). Ce sont par exemples les bureaux d'études, les chambres d'agriculture qui peuvent être aussi bien commanditaires d'études que producteurs et utilisateurs des données.

Il est important de dissocier les utilisateurs finaux des intermédiaires qui facilitent l'utilisation de la donnée. Les intermédiaires peuvent être les diffuseurs ou les promoteurs de ces données.

Ce premier inventaire a permis aussi d'identifier des financeurs actuels ou potentiels de la cartographie des sols.

Moyens et objectifs de la chaîne de valeurs

Les suites de ce premier travail seront de finaliser le schéma de la chaîne de valeur. Il est possible de s'appuyer sur la DPTI (Direction du Partenariat et du Transfert pour l'Innovation de l'INRA), qui a mis en place une « méthode » pour élaborer ces chaînes de valeur suivant 2 étapes principales : i) l'identification des acteurs (= entités qui peuvent être intéressées par la donnée, pour la produire, l'utiliser, et/ou la financer, etc.) et ii) l'organisation des liens entre ces acteurs.

A plus long terme, l'objectif pourrait être de réaliser une étude de marché (possible en lien avec DPTI) avec 4 objectifs principaux :

- Identifier ce qui influence le marché (réglementation, enjeux économiques, etc.)
- Identifier les clients finaux et les produits associés (données brutes / élaborées / services / etc.)
- Identifier et organiser les compétences associées aux services
- Identifier les leviers réglementaires et les enjeux économiques (ex. Plan climat-air-énergie territorial (PCAET), autonomie alimentaire des territoires, zones humides, aires d'alimentation de captages, études d'impact, habitats, cartographie des écosystèmes, AOP-AOC etc.)

Retours d'expériences

Les échanges entre les différents participants, d'horizons et d'expériences divers, ont permis d'identifier des pistes de réflexions sur les modèles économiques.

Les bureaux d'études n'utiliseront pas les données si elles sont payantes, et se retourneront vers les données géologiques (type InfoTerre) dont une partie est plus facile d'accès et gratuite. Mais tous les acteurs restent conscients que la maintenance d'une base de données a un coût, qui ne peut pas être porté par la seule structure, détentrice des données.

Une autre piste envisagée est l'enrichissement mutuel dont les modalités sont incluses dans les contrats passés entre les utilisateurs et les fournisseurs de données) qui, lors de la mise à disposition de données, incluent des retours de nouvelles données au producteur. Ce qui permet un enrichissement progressif des BDD par les utilisateurs.

Des modèles contractuels peuvent différencier les conditions d'accès des produits cartographiques traditionnels en fonction des utilisateurs (publics, utilisations marchandes, financement mixte avec adhésions + fonds publics). Une typologie des acteurs est à définir avec une grille correspondante pour les modalités d'accès.

Un aspect qui reste à travailler est d'inclure de manière systématique ou quasi-systématique les données sols dans différentes études. Une réflexion est en cours i) pour les aire d'Alimentation de Captage (AAC) où un travail est fait pour intégrer les données sol de manière significative dans les documents ou guides actuels ii) pour les études d'impact et la prise en compte du sol pour les projets d'aménagement (projet MUSE).

Pôles régionaux :

Un élément de réflexion du groupe a porté sur une réorganisation des compétences et sur la stratégie de diffusion des données au travers de pôles nationaux ou régionaux selon le niveau de questionnement. Cette opportunité est convergente avec la réorganisation actuelle des collectivités pour regrouper et mutualiser les données sur leur territoire, de manière à disposer de données de manière pérenne (sans les solliciter au coup par coup). Ce sont par exemple les observatoires régionaux.

Ces centres de ressources régionaux seraient des relais importants dans la création d'un réseau autour de la cartographie traditionnelle ou numérique. Ils pourraient avoir un double objectif :

- mettre à disposition les données sol qui pourraient être une brique supplémentaire dans un catalogue (exemple de la Nouvelle Aquitaine). Le service serait mutualisé, tout en espérant une certaine pérennisation du système.
- fournir une expertise locale lors de l'utilisation des données par un accompagnement pour une bonne compréhension et une bonne utilisation des données. Ce point s'accompagne du maintien des compétences en pédologie en région.

Des études ou des produits de démonstration sur des thématiques prioritaires semblent être aussi des produits d'appel indispensables pour interpeller les utilisateurs ou futurs utilisateurs sur les données.

Inciter à la capitalisation des données

Le financement de la capitalisation des données devrait être une obligation, mais de quelle manière l'imposer sans vraie réglementation sur les sols… ? La contrepartie d'un financement public devrait être de fournir de la donnée publique.

Dans un système donnant/donnant : un utilisateur utiliserait les données et en contrepartie enrichirait le système par de nouvelles données ou en partageant avec la communauté ses productions. Il faut convaincre les producteurs de données que les « retours sur investissement » ne se font pas forcément sur la base d'une « vente » des données.

Liens avec les compétences

Le lien avec l'enseignement doit être fait en adaptant les formations au marché de l'emploi (de quelle manière?). Se pose aussi la question sur les compétences à mobiliser pour construire ces produits (traditionnels ou numériques), faut-il des profils multi-compétences ou s'appuyer sur un réseau de compétences ? Concrètement, faut-il un chargé d'étude multi-compétent (pédologie, SIG, CNS) ou doit-il s'appuyer sur un réseau de professionnels aux compétences spécifiques ? Ce dernier point rejoint la notion de réseau d'expertise national ou local évoqué ci-dessus.

Restitution de l'atelier 4 : Quelle serait la gouvernance des programmes de cartographie au plan national ?

Animateur : Jean-Philippe Grelot (MAAF)

Secrétaires : Véronique Antoni (MTES), Blandine Lemercier (AGROCAMPUS OUEST),

Autres participants :

Valérie Maquère (MAA)

Aurélien Noraz (CRA Haute-Normandie)

Jean-Paul Party (Sol-Conseil)

Mme Roudergues (AFB)

Marc Voltz (INRA, UMR LISAH Montpellier)

Les contours de la gouvernance

Les participants se sont accordés sur le fait que les discussions et réflexions sur la gouvernance de la cartographie des sols en France doivent concerner les deux pans de la cartographie des sols, « classique » et « numérique ». Ils s'appliquent finalement aux mêmes programmes d'étude des sols, à savoir : les programmes du Gis Sol, le projet GlobalSoilMap et ses dérivés, ainsi que les études hors champ des programmes nationaux.

Il a été souligné que l'organisation actuelle (illustrée par la figure ci-dessous) soulèvera des problèmes méthodologiques à l'avenir et qu'un cahier des charges global sur la cartographie des sols et pas uniquement sur la cartographie numérique des sols (CNS), était souhaitable. En effet, la note de contexte de la CNS, ainsi que l'évaluation du Gis Sol font mention d'un périmètre thématique élargi comprenant également les sites et sols pollués par exemple.

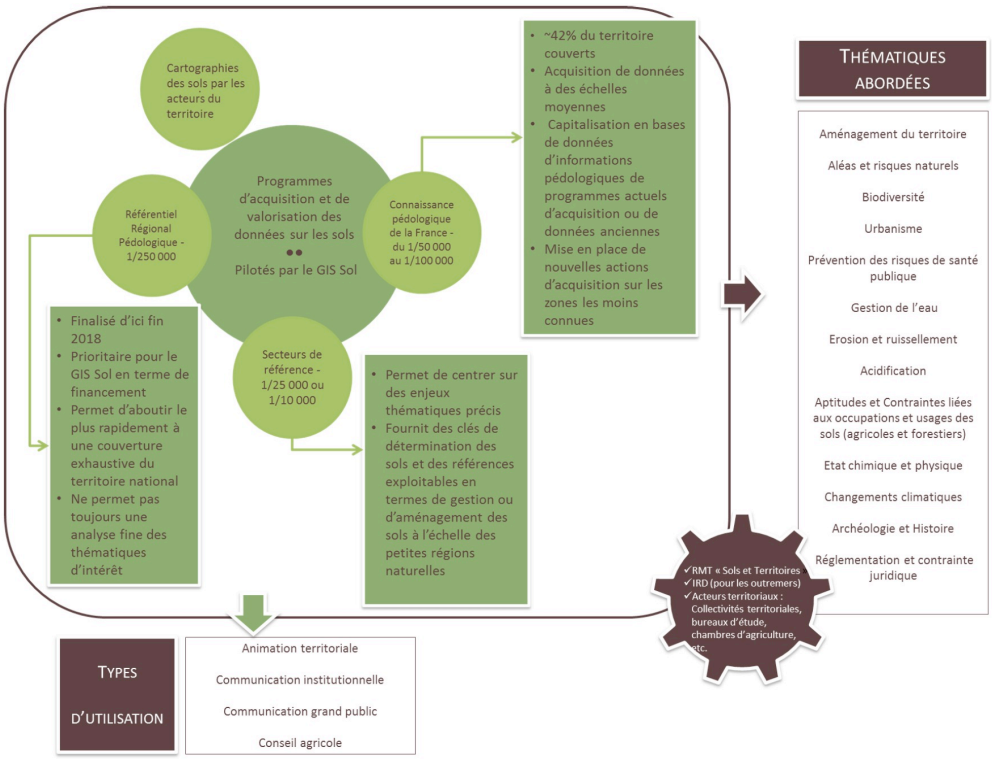


Figure : organisation actuelle du système de cartographie des sols en France et enjeux de son utilisation

Les parties prenantes

Le groupe s'est ensuite attaché à lister les parties prenantes de cette gouvernance :

1. Concepteurs de méthodes et d'outils de cartographie des sols (recherche, réseaux mixtes technologiques tel que le RMT Sols et Territoires) ;
2. Producteurs de données sol ;
3. Utilisateurs actuels et potentiels ;
4. Prestataires ;
5. Commanditaires ;

6. Promoteurs (acteurs et outils à identifier) ;
7. Évaluateurs (InfoSol, Conseil scientifique IGCS…) ;
8. Porteurs d'enjeux globaux, prescripteurs (impact sur la définition des politiques publiques) : par exemple le partenariat mondial sur les sols ou l'initiative 4 pour mille.

A l'heure actuelle, certains utilisateurs d'une part, et certains porteurs d'enjeux ayant la capacité d'inscrire une activité particulière dans une politique publique (cf. associations, organisations non gouvernementales à audience internationale, Commission européenne, experts nationaux participant aux programmes GlobalSoilMap ou Global Soil Partnership) d'autre part, ne sont pas associés à la gouvernance. A noter que si les ministères sont associés au titre de financeur, d'animateur et de pilote au titre de leur mission de service public, le mode d'action publique a beaucoup évolué. Pour le ministère en charge de l'agriculture, l'octroi de financements se fait ainsi de plus en plus par projet, en tant qu'utilisateur final ou comme donneur d'ordre.

Concernant les utilisateurs, il a été soulevé que les séminaires Afes, Gis Sol, RMT Sols et Territoires ainsi que les conférences d'orientation du Gis Sol avaient tenu lieu jusqu'à présent de réunion des utilisateurs potentiels des principales données sur les sols. Par ailleurs, le réseau national d'expertise scientifique et technique sur les sols (RNEST), lancé en décembre 2016 et qui est en train de se construire, offrira également une tribune aux utilisateurs, même s'il ne les représente pas de manière exhaustive. RNEST a une vocation de coordination des actions notamment sur thématique du carbone des sols et des réponses aux appels à projets internationaux sur les sols, il représente donc un pool incontournable d'utilisateurs des données sol.

Les participants ont également tenté de répondre à la double interrogation sur la structure du groupe d'utilisateurs et sur la gouvernance. Deux niveaux d'utilisateurs ont été identifiés : les utilisateurs intermédiaires qui mettent les données à disposition et les utilisateurs finaux (collectivités territoriales, etc.) pour lesquels des enjeux économiques peuvent entrer en ligne de compte (gestion des risques naturels par exemple). Si on croit bien connaitre les utilisateurs finaux *via* la gouvernance institutionnelle, la prise en compte de l'information sur les sols est par contre assez peu mobilisée (ou *a posteriori*) par ce pool d'utilisateurs, malgré la mise à disposition de guides techniques.

Les pistes pour l'élargissement de la gouvernance

La gouvernance en termes d'acteurs est complexe. Il s'agit donc de trouver une meilleure formulation des services que la cartographie des sols peut rendre aux utilisateurs, mais aussi d'identifier les porteurs d'enjeux ou les correspondants au niveau local. Ces correspondants peuvent par exemple être structurés sous forme de réseaux nationaux ou régionaux déjà existants, tels que l'Assemblée permanente des Chambres d'agriculture (APCA) ou les coopératives. Ces dernières, par exemple, contribuent déjà à la connaissance des sols en étant les principaux contributeurs au programme de la Base de données des analyses de terre (BDAT) du Gis Sol.

La possibilité de créer des centres de ressources locaux ou autour de thématiques a été évoquée. Ces centres pourraient être centrés sur des projets et pas uniquement constitués autour des porteurs de projets, comme c'est le cas par exemple de réseaux multi-structures comme les réseaux d'animateurs de bassin. En ce sens, on pourrait s'inspirer des perspectives du réseau « captages » qui, s'appuyant sur une convention Inra-Onema, a permis de mettre en place des cellules ressources d'appui aux politiques publiques.

Il s'agit également d'élargir la gouvernance à des acteurs qui interviennent sur certains milieux autres qu'agricoles et qui pourraient en outre apporter de nouvelles sources de financement, comme par exemple les milieux périurbains et urbains avec l'établissement des SCoTs et la définition de trames brunes. Ces milieux sont actuellement abordés presque exclusivement sous l'angle des sites et sols pollués. Or la prise en compte des sols au plus tôt dans la mise en place du processus d'élaboration des SCOTs est essentielle.

Enfin, cette nouvelle gouvernance devrait également viser un équilibre entre les acteurs publics et les acteurs privés et s'attacher à associer à la fois les acteurs actuels et les acteurs potentiels.

Les instruments de gouvernance

Les sols ne bénéficient pas d'une directive européenne comme d'autres milieux de l'environnement (eau, air), mais certains instruments peuvent les prendre en compte. C'est par exemple le cas du règlement de la PAC avec la possibilité d'inclure les services écosystémiques dans la PAC post 2020. Ce point mérite donc d'être anticipé de manière à définir quels utilisateurs associer à la gouvernance.

La gouvernance nécessite la mise en place d'une articulation pérenne, avec des missions différenciées entre les différents échelons : national, régional et infrarégional (départements qui ont un intérêt commun par exemple). La formalisation des besoins des utilisateurs est ainsi essentielle pour répondre de la meilleure manière à la question suivante: comment formaliser les demandes au niveau national (guichet unique) ?

Budget et moyens

Il faudrait préalablement procéder à une évaluation des moyens financiers consacrés actuellement à la connaissance des sols au niveau national, mais aussi à l'échelle infranationale (régionale, locale) y inclus les moyens privés.

La constitution du système d'information des sols de France et sa gestion reposent à l'heure actuelle presque exclusivement sur le Gis Sol. Or son fonctionnement est fragilisé par son système de financement comme l'a souligné le rapport d'évaluation du Gis Sol élaboré par la mission conjointe CGAAER-CGEDD.

Les enjeux forts autour des sols nécessitent des moyens pour assurer :

- ✓ la production de concepts et l'organisation du système (méthodologie) ;
- ✓ la production de données pédologiques
- ✓ leur valorisation et leur diffusion

En termes de moyens, un besoin de pédologues spécialisés dans la description des sols et de leur fonctionnement, mais aussi de personnes connaissant les sols et assurant l'animation à l'échelle régionale a été soulevé, s'agissant de deux métiers différents. Il est possible pour cela de s'appuyer sur la cartographie des compétences en pédologie réalisée par l'Afes, et de la compléter (voir http://www.afes.fr/cartographie-des-competences-en-pedologie/).

Annexe : Liste des inscrits à l'atelier

NOM - Prénom	E-mail	Structure
Antoni Véronique	veronique.antoni@developpement-durable.gouv.fr	MEEM
Arrouays Dominique	dominique.arrouays@inra.fr	INRA InfoSol
BARDY Marion	marion.bardy@inra.fr	Inra InfoSol
BATAILLE Eric	eric.bataille@agriculture.gouv.fr	MAAF DGPE BGeD
BISPO - Antonio	antonio.bispo@ademe.fr	ADEME
BOUTHIER Alain	a.bouthier@arvalis.fr	Arvalis
BRUSTEN - Thomas	thomas.brusten@cnpf.fr	CNPF - Institut pour le DÃ©veloppement Forestier
CADART Isabelle	isabelle.cadart@afbiodiversite.fr	Agence Française pour la biodiversité
Cahurel Jean-Yves	jean-yves.cahurel@vignevin.com	IFV
Chafchafi Ahmed	ahmed.chafchafi@aura.chambagri.fr	CRA AURA
CHEREL JOHAN	johan.cherel@sce.fr	SCE
COMMAGNAC Loïc	loic.commagnac@ign.fr	IGN
DEGAN Francesca	francesca.degan@acta.asso.fr	ACTA
DELGOULET Elise	elise.delgoulet@agriculture.gouv.fr	Centre d'études et de prospective
DESOINDRE Agnes	agnes.desoindre@ agriculture.gouv.fr	Ministère de l'agriculture et de l'alimentation
EYCHENE Coline	c.eychene@soltracing.fr	Soltracing
EYMERY - Franck	franck.eymery@anses.fr	Agence nationale de sécurité sanitaire - Phytopharmacovigilance
FORT Jean-Luc	jean-luc.fort@na.chambagri.fr	CRA NA
Gascuel Chantal	chantal.gascuel@inra.fr	Inra
GENEVOIS Véronique	veronique.genevois@vetagro-sup.fr	VetAgro-Sup
GOHON Florence	florence.gohon@crpf.fr	CRPF Normandie
GRELOT Jean-Philippe	jean-philippe.grelot@agriculture.gouv.fr	Ministère de l'agriculture et de l'alimentation
Juille Françoise	francoise.juille@inra.fr	INRA
Lagacherie Philippe	philippe.lagacherie@inra.fr	INRA UMR LISAH Montpellier
LALANNE Arnault	arnault.lalanne@developpement-durable.gouv.fr	MEEM/DGALN/DEB/PEM
LAROCHE Bertrand	bertrand.laroche@inra.fr	INRA
LAVESSIERE FRANCOIS	contact@altermap.fr	ALTERMAP
Lemercier Blandine	blandine.lemercier@agrocampus-ouest.fr	AGROCAMPUS OUEST

MARTELET Guillaume	g.martelet@brgm.fr	BRGM
Moulin Joel	j.moulin@indre.chambagri.fr	Chambre d'agriculture Indre / RMT Sols et Territoires
NEDELEC Hervé	herve.nedelec@loiret.chambagri.fr	Chambre d'agriculture du Loiret
NORAZ Aurélien	a.noraz@cren-haute-normandie.com	Conservatoire d'espaces naturels de Haute-Normandie
OUILLON ISABELLE	isabelle.ouillon@agriculture.gouv.fr	Ministère de l'agriculture et de l'alimentation
PARTY Jean-Paul	jpparty@wanadoo.fr	Sol-Conseil
POUSSE Noémie	noemie.pousse@onf.fr	ONF
POYAT Yannick	yannick.poyat@solpaysage.fr	SOL PAYSAGE
RAYE Gilles	gilles.raye@developpement-durable.gouv.fr	MEEM
RICHARD Guy	Guy.Richard@inra.fr	INRA
Richer de Forges Anne	anne.richer-de-forges@inra.fr	INRA InfoSol
ROUDERGUES Fanny	fanny.roudergues@afbiodiversite.fr	Agence française pour la biodiversité
SABY-Nicolas	nicolas.saby@inra.fr	INRA
SCHEURER Olivier	olivier.scheurer@unilasalle.fr	UniLaSalle
SCHNEBELEN Nathalie	Nathalie.Schnebelen@inra.fr	INRA
SUC Olivier	o.suc@somme.chambagri.fr	Chambre d'agriculture de la Somme
Szleper Vincent	vincent.szleper@agriculture.gouv.fr	Ministère de l'agriculture et de l'alimentation
VANDERERVEN Rik	rik.vandererven@agriculture.gouv.fr	Ministère de l'agriculture et de l'alimentation
VAUDOUR Emmanuelle	Emmanuelle.Vaudour@agroparistech.fr	UMR ECOSYS
VAUTIER Arnaud	arnaud.vautier@nievre.chambagri.fr	Chambre Agriculture de la Nièvre
Voltz Marc	marc.voltz@inra.fr	INRA
Walter Christian	christian.walter@agrocampus-ouest.fr	Agrocampus Ouest

Annexe 3: Estimation du coût de réalisation et d'analyse de profils pédologiques

*Tableau A : Estimation du coût de la réalisation d'un profil de sol décrit et analysé. * sur la base d'un coût journalier de 680 € (soit 85€/h) ; ** le coût des analyses dépend du nombre d'horizons analysés et du coût des analyses élémentaires. L'estimation est basée sur l'analyse de 4 couches, et d'un scénario intermédiaire de déterminations pédologiques (voir tableau B).*

		Durée de l'action (h)	Coût de main d'œuvre estimé*	Charges directes HT	Coût total estimé
1	**Avant l'intervention**				
1,1	Contact avec l'exploitant et/ le propriétaire	1	85		85
1,2	Préparation matérielle et logistique de l'intervention	1	85		85
2	**Le jour de l'intervention**				
2,1	Déplacement, frais de mission	2	170	200	370
2,2	Positionnement du profil (repérage à la tarière) et creusement mécanisé	1	85	300	385
2,3	Description du profil de sol et prélèvement d'échantillons	2	170		170
3	**Après l'intervention**				
3,1	Gestion et expédition des échantillons	1	85	30	115
3,2	Saisie des données	2	170		170
3,3	Analyses**			419	419
4	**TOTAL**		**850**	**949**	**1799**

Tableau B : Coût des analyses de terre par échantillon (prix publics 2018 au LAS Arras)

Intitulé	Méthode	Prix public HT	Scénario minimum	Scénario intermédiaire	Scénario optimal
Prise en charge de l'échantillon	SOL-0101	9,6	X	X	X
Broyage des échantillons à 250 µm	@ SOL-0102	5,28	X	X	X
Préparation des sols	@ SOL-0103	7,44	X	X	X
Granulométrie 5 fractions après décarbonatation	@ SOL-0302	21,1	X	X	X
Eléments grossiers	SOL-0301	5,09	X	X	X
Carbone organique, azote total et calcaire total	@ SOL-0405	14,4	X	X	X
pH mesuré à l'eau	@ SOL-0501	3	X	X	X
Extraction au chlorure de cobaltihexamine	@ SOL-0709	5,58	X	X	X
Capacité d'Echange Cationique (cobaltihexamine)	@ SOL-0710	4,34	X	X	X
Phosphore extractible Olsen	@ SOL-0604	7,81		X	X
Mise en solution par HF	@ SOL-1001	8,69		X	X
Phosphore total	@ SOL-1031	12,41		X	X
Extraction au CaCl2	SOL-1701	11,17			X
Eléments traces métalliques extraits au CaCl2 : Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	SOL-1765	31,02			X
Coût total			**75,83**	**104,74**	**146,93**

Tableau C : Coût des analyses de terre par échantillon (prix INRA 2018 au LAS Arras)

Intitulé	Méthode	Prix INRA HT (après remise)	Remise INRA	Scénario minimum	Scénario intermédiaire	Scénario optimal
Prise en charge de l'échantillon	SOL-0101	5,2	45,80%	X	X	X
Broyage des échantillons à 250 µm	@ SOL-0102	3,96	25%	X	X	X
Préparation des sols	@ SOL-0103	5,58	25%	X	X	X
Granulométrie 5 fractions après décarbonatation	@ SOL-0302	14,94	29,20%	X	X	X
Eléments grossiers	SOL-0301	3,6	29,20%	X	X	X
Carbone organique, azote total et calcaire total	@ SOL-0405	9	37,50%	X	X	X
pH mesuré à l'eau	@ SOL-0501	2	33,30%	X	X	X
Extraction au chlorure de cobaltihexamine	@ SOL-0709	3,26	41,70%	X	X	X
Capacité d'Echange Cationique (cobaltihexamine)	@ SOL-0710	2,9	33,30%	X	X	X
Phosphore extractible Olsen	@ SOL-0604	4,56	41,70%		X	X
Mise en solution par HF	@ SOL-1001	5,07	41,70%		X	X
Phosphore total	@ SOL-1031	8,27	33,30%		X	X
Extraction au CaCl2	SOL-1701	6,52	41,70%			X
Eléments traces métalliques extraits au CaCl2 : Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	SOL-1765	23,27	25%			X
Coût total				**50,44**	**68,34**	**98,13**

Annexe 4: Analyse détaillée du cadre juridique des données IGCS et RMQS de la base Donesol

Statut des échantillons de sol et des analyses réalisées sur ces échantillons

Le sol sur lequel les échantillons ont été prélevés appartient au propriétaire du terrain tant qu'il n'a pas cédé son droit à une autre personne. Deux types de propriété existent : le domaine public et la propriété privée (celle-ci pouvant être détenue par un organisme public).

Concernant le domaine public, les échantillons prélevés relèvent du domaine public.

Concernant la propriété privée, plusieurs cas existent actuellement :

- les échantillons ont été prélevés sans l'accord du propriétaire du terrain : le prélèvement est illégal et appartient toujours au propriétaire du terrain. Celui-ci peut se retourner contre l'organisme qui a effectué le prélèvement et l'accuser de vol et de violation de propriété. Une prescription existe sur ces délits donc il est possible que l'échantillon de sol puisse être considéré comme appartenant à l'organisme qui a prélevé l'échantillon au-delà du *délai de prescription*. Cependant, cette possibilité reste à valider.
- les échantillons ont été prélevés avec l'accord oral du propriétaire du terrain : le prélèvement est légal mais l'organisme qui a effectué le prélèvement ne peut le prouver. En l'absence de preuve opposable, l'accusation de vol et de violation de propriété est toujours possible. Mais le *délai de prescription* s'applique également.
- les échantillons ont été prélevés avec l'accord écrit du propriétaire du terrain : le prélèvement est légal et l'organisme qui a effectué le prélèvement peut le prouver. Cependant, cela ne signifie pas que le propriétaire a consenti à la diffusion des données issues des analyses réalisées sur ce prélèvement. Il est nécessaire de *consulter les documents signés*.
- les échantillons ont été prélevés dans le cadre d'un arrêté préfectoral en application de la loi du 29 décembre 1892 relative aux dommages causés à la propriété privée par l'exécution des travaux publics. Dans ce cadre, les échantillons appartiennent à l'organisme qui a réalisé le prélèvement. Cependant, les échantillons ne peuvent être utilisés que pour les objectifs décrits dans l'arrêté (article 16).

Si le prélèvement est illégal, la donnée obtenue à partir de ce prélèvement est elle-même entachée d'illégalité. Dans l'hypothèse où la prescription pourrait permettre de considérer que l'échantillon appartient à l'organisme qui a réalisé le prélèvement, cela ne signifie pas que l'on puisse diffuser les données d'analyses liées à cet échantillon.

Statut des données ponctuelles utilisées pour la cartographie des sols :

Mis à part la problématique de la légalité des analyses telle que décrite ci-avant, les données ponctuelles qui sont présentes dans la base de données Donesol peuvent avoir diverses origines et donc divers statuts.

Une question demeure concernant le statut d'œuvres de l'esprit pour ces données. Dans ce cas, l'auteur de la donnée en détient les droits de propriété intellectuelle sauf s'il a cédé ses droits d'exploitation. C'est le cas notamment des agents publics qui cèdent à leur administration les droits d'exploitation de leurs œuvres réalisées dans le cadre de leurs fonctions, à l'exception toutefois des chercheurs et des enseignants-chercheurs. Or, la détention de droits de propriété intellectuelle par des tiers rend l'information non publique au sens du code des relations entre le public et l'administration.

Dans la suite, nous allons considérer que les données ponctuelles ne sont pas des œuvres de l'esprit. Elles ne sont cependant pas exemptes de protection (concurrence déloyale, parasitisme, droit de producteur de base de données).

1. la donnée a été obtenue par un organisme public ou privé hors mission de service public :
    - la donnée a été publiée (publication non confidentielle) et elle a été numérisée dans Donesol (c'est-à-dire saisie après éventuellement une recodification dans les tables de la base de données relatives à la description des profils et des horizons et aux résultats d'analyse physiques et chimiques) à partir de la publication : des droits de propriété intellectuelle sont attachés au document publié mais pas à l'information contenue dans le document qui est de libre réutilisation. La reprise des informations contenues dans le document dans Donesol ne constitue pas une reproduction au sens du code de la propriété intellectuelle en cela que seules les informations sont utilisées et que leur mise en forme n'est pas reproduite. La donnée étant incluse légalement dans la base de données Donesol, elle entre alors dans le champ du code des relations entre le public et l'administration (cf. le point 2.).
    - la donnée n'a pas été publiée ou a fait l'objet d'une publication confidentielle : la donnée n'est pas diffusable sans l'accord de l'organisme qui a obtenu la donnée.
2. la donnée a été obtenue par un organisme public dans le cadre d'une mission de service public ou un organisme privé dans le cadre d'une mission de service public en rapport avec l'environnement : le code des relations entre le public et l'administration s'applique ainsi que le code de l'environnement.
    - l'organisme n'a pas de mission de service public à caractère industriel ou commercial soumise à la concurrence :
        - la donnée concerne l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-5) s'applique concernant l'accès aux données. Le statut de données à caractère personnel ne peut être évoqué pour en refuser l'accès. La donnée est diffusable et réutilisable sous réserve que la communication ne porte pas atteinte à la conduite de la politique extérieure de la France, à la sécurité publique, ou à la défense nationale ; au déroulement de procédures juridictionnelles ou à la recherche d'infractions ; à des droits de propriété intellectuelle –art L214-5, code de l'environnement
        - la donnée ne concerne pas l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-4) s'applique concernant l'accès aux données : l'autorité publique peut rejeter la demande d'accès pour différents motifs (atteinte à la vie privée, protection de l'environnement, etc.). Si la donnée est à caractère personnel, l'article L312-1-2 stipule que les données doivent être anonymisées pour une diffusion publique. Si la donnée est communiquée, elle est alors réutilisable.
    - l'organisme a une mission de service public à caractère industriel ou commercial soumise à la concurrence : la réutilisation est soumise au droit de producteur de base de données[10] détenue par l'organisme (dans le cas où les données étaient dans une base de données antérieurement à leur saisie dans Donesol)

[10] Le terme base de données s'entend dans le sens défini par l'article L112-3 du code de la propriété intellectuelle : « recueil d'œuvres, de données ou d'autres éléments indépendants, disposés de manière systématique ou méthodique, et individuellement accessibles par des moyens électroniques ou par tout autre moyen ». Il ne s'agit pas forcément d'une base de données informatisée.

- la donnée concerne l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-5) s'applique concernant l'accès aux données. Le statut de donnée à caractère personnel ne peut être évoqué pour en refuser l'accès. La donnée est communicable. Sa réutilisation dépend de l'existence ou non de droit de producteur de base de données détenue par l'organisme.
- la donnée ne concerne pas l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-4) s'applique concernant l'accès aux données : l'autorité publique peut rejeter la demande d'accès pour différents motifs (atteinte à la vie privée, protection de l'environnement, etc.). Si la donnée est personnelle, l'article L312-1-2 stipule que les données doivent être anonymisées pour une diffusion publique. Si la donnée est communiquée, sa réutilisation dépend de l'existence ou non de droit de producteur de base de données détenue par l'organisme.

Il est à noter que si les données sont diffusables et réutilisables, elles entrent également dans le champ de la directive Inspire (code de l'environnement, livre Ier, Titre II, Chapitre VII De l'infrastructure d'information géographique).

Statut des données surfaciques (cartographie conventionnelle) utilisées pour la cartographie des sols :

De même que pour les données ponctuelles, les données surfaciques qui sont présentes dans la base de données Donesol peuvent avoir diverses origines et donc divers statuts. Cependant, les données surfaciques peuvent être considérées comme étant une œuvre de l'esprit. Dans ce cas, l'auteur de la donnée en détient les droits de propriété intellectuelle sauf s'il a cédé ses droits d'exploitation. C'est le cas notamment des agents publics qui cèdent à leur administration les droits d'exploitation de leurs œuvres réalisées dans le cadre de leurs fonctions, à l'exception toutefois des chercheurs et des enseignants-chercheurs.

Un élément de complexité s'ajoute selon que les données surfaciques ont incorporé ou non des données provenant d'une œuvre préexistante. En effet, lorsqu'il y a utilisation de cartes de sol préexistantes (par exemple, synthèse réalisée à partir de cartes à plus grandes échelles), l'œuvre résultante peut être qualifiée d'œuvre composite (article L113-2 du code de la propriété intellectuelle). L'auteur de l'œuvre composite est celui qui l'a réalisée (article L113-4). Cependant, il doit aussi respecter les droits de l'auteur de l'œuvre préexistante et par conséquent obtenir son consentement pour la divulgation de l'œuvre.

Il est à noter également que la numérisation d'une œuvre de l'esprit est considérée comme une reproduction de l'œuvre et, par conséquent, elle est soumise à l'autorisation de l'auteur de l'œuvre (ou de celui qui détient les droits de reproduction).

Considérant les données présentes dans la base de données Donesol, plusieurs cas existent :

1. la donnée a été réalisée par un auteur d'un organisme privé hors mission de service public : l'auteur a-t-il cédé ses droits d'exploitation à son employeur ?
    - l'œuvre a été numérisée sans l'accord de celui qui détient les droits d'exploitation : la numérisation est illégale. La donnée ne peut être diffusée, ni réutilisée.
    - l'œuvre a été numérisée par ou avec l'accord de celui qui détient les droits d'exploitation :
        - l'œuvre n'est pas composite : elle n'est pas diffusable sans l'autorisation de celui qui détient les droits d'exploitation

        - l'œuvre est composite : elle n'est pas diffusable sans l'autorisation de ceux qui détiennent les droits d'exploitation de l'œuvre composite et de l'œuvre incorporée

2. la donnée a été réalisée par un auteur d'un organisme privé dans le cadre d'une mission de service public en rapport avec l'environnement : le code des relations entre le public et l'administration s'applique ainsi que le code de l'environnement.
    - l'œuvre a été numérisée sans l'accord de celui qui détient les droits d'exploitation : la numérisation est illégale. La donnée ne peut être diffusée, ni réutilisée.
    - l'œuvre a été numérisée par ou avec l'accord de celui qui détient les droits d'exploitation :
        - l'œuvre n'est pas composite :
            - l'organisme n'a pas de mission de service public à caractère industriel ou commercial soumise à la concurrence :
                - la donnée concerne l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-5) s'applique concernant l'accès aux données. L'existence de droit de propriété intellectuelle peut être évoqué pour refuser l'accès aux données. Si la donnée est communiquée, elle est réutilisable si l'auteur a cédé ses droits d'exploitation à son employeur
                - la donnée ne concerne pas l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-4) s'applique concernant l'accès aux données : l'autorité publique peut rejeter la demande d'accès pour différents motifs (atteinte à la vie privée, protection de l'environnement, etc.) mais pas pour existence de droit de propriété intellectuelle. Si la donnée est communiquée, elle est réutilisable si l'auteur a cédé ses droits d'exploitation à son employeur
            - l'organisme a une mission de service public à caractère industriel ou commercial soumise à la concurrence : la réutilisation est soumise au droit de producteur de base de données détenue par l'organisme (dans le cas où les données étaient dans une base de données antérieurement à leur saisie dans Donesol)
                - la donnée concerne l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-5) s'applique concernant l'accès aux données. L'existence de droit de propriété intellectuelle peut être évoqué pour refuser l'accès aux données. Si la donnée est communiquée, elle est réutilisable si l'auteur a cédé ses droits d'exploitation à son employeur et selon l'existence ou non de droit de producteur de base de données détenue par l'organisme.
                - la donnée ne concerne pas l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-4) s'applique concernant l'accès aux données : l'autorité publique peut rejeter la demande d'accès pour différents motifs (atteinte à la vie privée, protection de l'environnement, etc.) mais pas pour existence de droit de

propriété intellectuelle. Si la donnée est communiquée, elle est réutilisable si l'auteur a cédé ses droits d'exploitation à son employeur et selon l'existence ou non de droit de producteur de base de données détenue par l'organisme.

- l'œuvre est composite :
  - l'organisme n'a pas de mission de service public à caractère industriel ou commercial soumise à la concurrence :
    - la donnée concerne l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-5) s'applique concernant l'accès aux données. L'existence de droit de propriété intellectuelle peut être évoqué pour refuser l'accès aux données. Si la donnée est communiquée, elle est réutilisable si l'auteur a cédé ses droits d'exploitation à son employeur et si l'auteur de l'œuvre incorporée l'autorise
    - la donnée ne concerne pas l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-4) s'applique concernant l'accès aux données : l'autorité publique peut rejeter la demande d'accès pour différents motifs (atteinte à la vie privée, protection de l'environnement, etc.) mais pas pour existence de droit de propriété intellectuelle. Si la donnée est communiquée, elle est réutilisable si l'auteur a cédé ses droits d'exploitation à son employeur et si l'auteur de l'œuvre incorporée l'autorise
  - l'organisme a une mission de service public à caractère industriel ou commercial soumise à la concurrence : la réutilisation est soumise au droit de producteur de base de données détenue par l'organisme (dans le cas où les données étaient dans une base de données antérieurement à leur saisie dans Donesol)
    - la donnée concerne l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-5) s'applique concernant l'accès aux données. L'existence de droit de propriété intellectuelle peut être évoqué pour refuser l'accès aux données. Si la donnée est communiquée, elle est réutilisable si l'auteur a cédé ses droits d'exploitation à son employeur, si l'auteur de l'œuvre incorporée l'autorise et selon l'existence ou non de droit de producteur de base de données détenue par l'organisme.
    - la donnée ne concerne pas l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-4) s'applique concernant l'accès aux données : l'autorité publique peut rejeter la demande d'accès pour différents motifs (atteinte à la vie privée, protection de l'environnement, etc.) mais pas pour existence de droit de propriété intellectuelle. Si la donnée est communiquée, elle est réutilisable si l'auteur a cédé ses droits d'exploitation à son employeur, et si l'auteur de l'œuvre incorporée

l'autorise et selon l'existence ou non de droit de producteur de base de données détenue par l'organisme.

3. la donnée a été réalisée par un auteur d'un organisme public dans le cadre d'une mission de service public : le code des relations entre le public et l'administration s'applique ainsi que le code de l'environnement. Si l'auteur est un agent public (hors chercheur et enseignant-chercheur) et cède ses droits d'exploitation à son organisme employeur. Dans le cas des auteurs non agents publics ou chercheurs, on se retrouve dans le cas 2.
    - l'œuvre a été numérisée sans l'accord de celui qui détient les droits d'exploitation : la numérisation est illégale. La donnée ne peut être diffusée, ni réutilisée.
    - l'œuvre a été numérisée par ou avec l'accord de celui qui détient les droits d'exploitation :
        - l'œuvre n'est pas composite :
            - l'organisme n'a pas de mission de service public à caractère industriel ou commercial soumise à la concurrence :
                - la donnée concerne l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-5) s'applique concernant l'accès aux données. L'existence de droit de propriété intellectuelle peut être évoqué pour refuser l'accès aux données. Si la donnée est communiquée, elle est réutilisable
                - la donnée ne concerne pas l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-4) s'applique concernant l'accès aux données : l'autorité publique peut rejeter la demande d'accès pour différents motifs (atteinte à la vie privée, protection de l'environnement, etc.) mais pas pour existence de droit de propriété intellectuelle. Si la donnée est communiquée, elle est réutilisable
            - l'organisme a une mission de service public à caractère industriel ou commercial soumise à la concurrence : la réutilisation est soumise au droit de producteur de base de données détenue par l'organisme (dans le cas où les données étaient dans une base de données antérieurement à leur saisie dans Donesol)
                - la donnée concerne l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-5) s'applique concernant l'accès aux données. L'existence de droit de propriété intellectuelle peut être évoqué pour refuser l'accès aux données. Si la donnée est communiquée, elle est réutilisable selon l'existence ou non de droit de producteur de base de données détenue par l'organisme.
                - la donnée ne concerne pas l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-4) s'applique concernant l'accès aux données : l'autorité publique peut rejeter la demande d'accès pour différents motifs (atteinte à la vie privée, protection de l'environnement, etc.) mais pas pour existence de droit de propriété intellectuelle. Si la donnée est communiquée, elle

est réutilisable selon l'existence ou non de droit de producteur de base de données détenue par l'organisme.

- l'œuvre est composite :
  - l'organisme n'a pas de mission de service public à caractère industriel ou commercial soumise à la concurrence :
    - la donnée concerne l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-5) s'applique concernant l'accès aux données. L'existence de droit de propriété intellectuelle peut être évoquée pour refuser l'accès aux données. Si la donnée est communiquée, elle est réutilisable si l'auteur de l'œuvre incorporée l'autorise
    - la donnée ne concerne pas l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-4) s'applique concernant l'accès aux données : l'autorité publique peut rejeter la demande d'accès pour différents motifs (atteinte à la vie privée, protection de l'environnement, etc.) mais pas pour existence de droit de propriété intellectuelle. Si la donnée est communiquée, elle est réutilisable si l'auteur de l'œuvre incorporée l'autorise
  - l'organisme a une mission de service public à caractère industriel ou commercial soumise à la concurrence : la réutilisation est soumise au droit de producteur de base de données détenue par l'organisme (dans le cas où les données étaient dans une base de données antérieurement à leur saisie dans Donesol)
    - la donnée concerne l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-5) s'applique concernant l'accès aux données. L'existence de droit de propriété intellectuelle peut être évoqué pour refuser l'accès aux données. Si la donnée est communiquée, elle est réutilisable si l'auteur de l'œuvre incorporée l'autorise et selon l'existence ou non de droit de producteur de base de données détenue par l'organisme.
    - la donnée ne concerne pas l'émission de substances dans l'environnement : le code de l'environnement (article L124-4) s'applique concernant l'accès aux données : l'autorité publique peut rejeter la demande d'accès pour différents motifs (atteinte à la vie privée, protection de l'environnement, etc.) mais pas pour existence de droit de propriété intellectuelle. Si la donnée est communiquée, elle est réutilisable si l'auteur de l'œuvre incorporée l'autorise et selon l'existence ou non de droit de producteur de base de données détenue par l'organisme.