HAL
open science

La cartographie des sols en France : Etat des lieux et perspectives - synthèse du rapport

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

To cite this version:

Marc Voltz, Dominique Arrouays, Antonio Bispo, Philippe Lagacherie, Bertrand Laroche, et al.. La cartographie des sols en France : Etat des lieux et perspectives - synthèse du rapport. [0] GISSOL. 2018, 22 p. hal-02788976

HAL Id: hal-02788976

https://hal.inrae.fr/hal-02788976

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

Synthèse du rapport
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 notammen 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. Synthèse du rapport. INRA, France, 22 pages.

Table des matières

1 Introduction 4
1.1 Le contexte et les objectifs 4
1.2 La démarche suivie 5
1.3 Le plan du rapport 5

2 Etat actuel 6
2.1 Etat succinct des programmes de cartographie en France et à l'international 6
2.2 Cartographie des sols par modélisation statistique et cartographie conventionnelle 8
2.3 Les besoins et attentes des utilisateurs et producteurs de données sol 9
2.4 Le cadre juridique de la diffusion et de l'utilisation des données sol 10
2.5 Conclusion sur l'état actuel 11

3 Les scénarios techniques 11
3.1 Prospection – échantillonnage des profils de sol 11
3.2 Modalités d'échantillonnage et de prospection spatiaux 12
3.3 Modalités de méthode cartographique 12
3.4 Les scénarios techniques retenus 13

4 Les scénarios organisationnels 14
4.1 La représentation du système de cartographie des sols en France 14
4.2 Les quatre scénarios choisis 15

5 L'évaluation des scénarios 16
5.1 Estimation des coûts des scénarios 16
5.2 L'analyse des modèles économiques des scénarios 17
5.3 L'évaluation multi-critère des scénarios 17

6 Synthèse et recommandations 19
6.1 Soutenir la poursuite de l'acquisition des données sol ..... Erreur ! Le signet n'est pas défini.
6.2 Approfondir l'organisation des acteurs et activités de cartographie des sols en France 19
6.3 Améliorer la visibilité et les conditions de diffusion des données sol 20
6.4 Aider au développement d'un marché de produits services liés à la cartographie des sols 20
6.5 Eclaircir la question juridique 20
6.6 Soutenir la R&D en cartographie des sols sur les thèmes prioritaires suivants : 20
6.7 Développer la coopération avec les autres acteurs européens et internationaux 21

7 Liste des abréviations 22

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 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] 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/

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 INFOSOL de l'INRA. 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.
- ***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.
- ***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.
- ***Des propositions de scénarios d'évolution aux plans technique et organisationnel***. 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 à l'international

2.1.1 La cartographie des sols en France

A la fin des années 1980, force est de remettre l'ensemble des programmes de cartographie des sols à plat. Ce constat aboutit à la création du programme IGCS, qui s'est poursuivi jusqu'à maintenant. Créé en 2001, le GIS Sol (www.gissol.fr) a restructuré le programme IGCS (Inventaire, Gestion et Conservation des Sols) selon 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).

L'avancement actuel des différents programmes de cartographie est le suivant : 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).

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

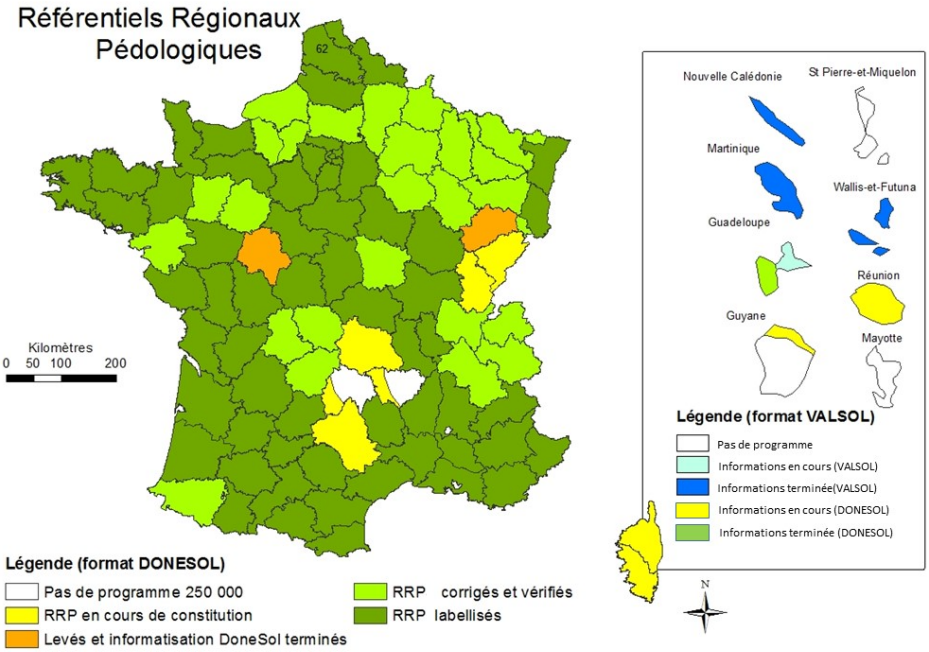

Figure 1 : Cartes d'état d'avancement de la cartographie des sols en France au 1/250 000 (mai 2018)

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.

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. 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).

D'assez nombreuses initiatives peuvent être répertoriées en ce qui concerne le développement de bases de données et de cartographies internationales (Tableau 1). La situation peut sembler très complexe du fait de la multiplicité des initiatives et des méthodes, mais on peut néanmoins penser que le partenariat mondial sur les sols et l'INSII[4] permettront à terme une meilleure coordination et une meilleure remontée des informations en provenance des pays. Le fait que l'ISRIC[5] ait été retenu pour héberger un « Soil Data Facility » pour le compte du Partenariat Mondial sur Les Sols est un point important qui devrait permettre de faire converger les approches. 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. Il y a 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 système d'information 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

[4] International Network of Soil Information Institutions

[4] International Soil Reference and Information Centre

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.**

Grâce à une activité scientifique intense, la CSMS a 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.

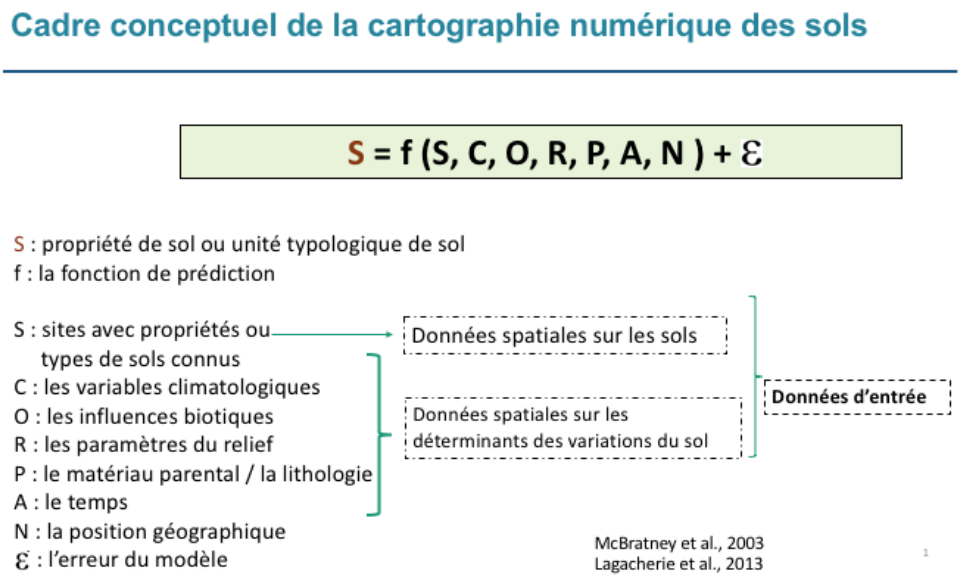

Figure 2 : Principe général de la cartographie des sols par modélisation statistique.

Le principe général de la cartographie des sols par modélisation statistique est résumé en Figure 2. 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 ». 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.

La CSMS partage avec la cartographie pédologique conventionnelle les mêmes hypothèses sur l'organisation spatiale des sols dans le paysage. 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.

- **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 », la cartographie par modélisation statistique représente les variations de propriétés ou de types de sol par leurs valeurs ou types estimés sur des grilles régulières de résolution spatiale fixée (ex : 90m x 90m pour GlobalSoilMap) couvrant la zone à caractériser.
- **Un nombre plus important de données spatiales pris en compte**. 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.
- **Une formulation explicite et traçable du modèle de prédiction des sols**. La CSMS s'appuie sur des modèles cartographiques totalement reproductibles et transférables, au contraire de celui de la cartographie conventionnelle qui n'est souvent que partiellement décrit dans les documents remis aux utilisateurs.
- **Une estimation quantifiée et une représentation explicite de l'incertitude de prédiction.** Les cartes numériques produites par CSMS sont systématiquement assorties d'estimations spatialisées des incertitudes sur la présence d'un type de sol ou la valeur d'une propriété estimée.
- **Une évolution significative du processus de production des cartes de sol**. La CSMS ouvre la possibilité d'une organisation 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.

Au total, la CSMS s'inscrit cependant 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. Toutefois, un frein important réside dans le faible nombre d'acteurs actuellement compétents en CSMS. Un effort de formation initiale et continue est donc à mener.

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

L'enquête réalisée par internet auprès de 873 personnes appartenant à 676 organismes différents 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 ». Nous présentons ici plus en détail les thématiques principales à fort enjeu qui ressortent de l'enquête.

La Figure 3 présente 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.

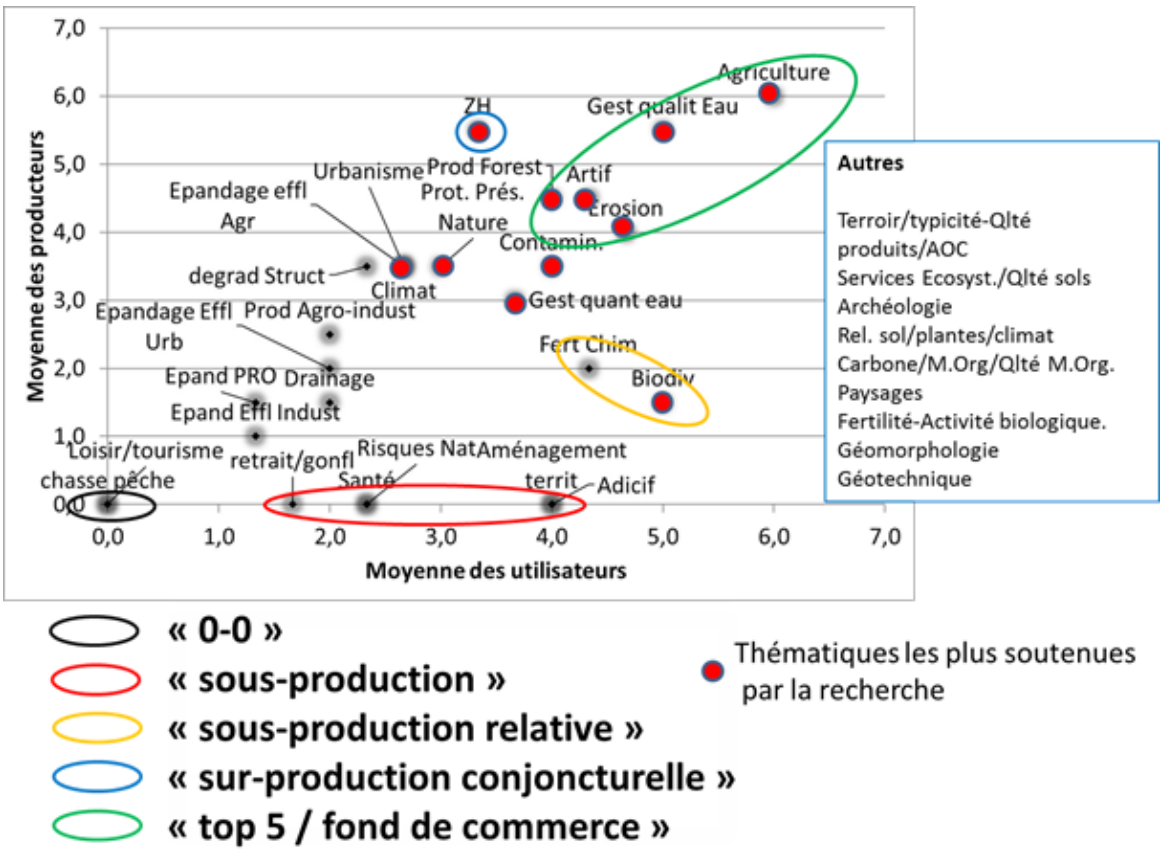

Figure 3 : Les grandes thématiques d'application des cartes de sol classées de 0 à 6 selon leur importance vue par les utilisateurs (abscisse) et par les producteurs (ordonnée). L'encadré résume les principaux commentaires libres faisant état de thématiques non proposées littéralement dans le questionnaire. Les couleurs figurent une tentative de classification en grands groupes.

Il ressort de l'analyse effectuée 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

Les codes des relations entre le public et l'administration et le code 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. Elles dépendent alors du code de la propriété intellectuelle qui protège l'auteur et limite leur diffusion et leur 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 dans le rapport, mais elle est encore partielle et demande

validation auprès des services juridiques de l'Inra. En fonction de la nature des données, des pistes d'actions pour permettre l'ouverture sont mises en évidence (ex : anonymisation, demande d'avis administratif, diffusion de données invariantes sur la nature des sols). Si elles nécessitent d'être approfondies, il est cependant plus que vraisemblable que pour une partie des données sol il restera toujours des « risques juridiques » à ouvrir l'accès aux données. Un arbitrage sera donc à prendre par les organismes gestionnaires des données au regard des risques encourus et de l'intérêt général que peut représenter l'ouverture des données sur les sols.

2.5 Conclusion sur l'état actuel

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 envisagées 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

Nous avons choisi de n'envisager qu'une modalité moyenne de caractérisation afin de limiter le nombre de scénarios techniques comparés. Les modalités d'observations et les variables qu'il sera nécessaire d'acquérir ont été définis en se fondant sur i) l'expérience internationale et l'existence d'un jeu de variables minimal défini dans le cadre de *GlobalSoilMap*, ii) les demandes ressorties

de l'enquête auprès des utilisateurs, iii) les avis d'expert des membres du groupe concernant la faisabilité et l'utilité de l'acquisition de ces variables.

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 différencier des scénarios techniques, nous envisageons des modalités d'ambitions différentes basées sur l'une ou plusieurs approches suivantes.

- **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. 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) constituent les modalités que nous retenons. 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 et au sein des RRP.
- **Investir dans des cartographies détaillées de petits secteurs représentatifs (secteurs de référence) dans les petites régions agricoles (PRA) 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.
- **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 du 1/50000ème**. C'est l'approche la plus ambitieuse qui est à la fois systématique et détaillée et qui permettrait de répondre à la majorité des 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 bien entendu pas réaliste, 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'entraînement.

3.3 Modalités de méthode cartographique

Les scénarios de cartographie des sols sur le territoire français envisagent le recours important aux techniques de CSMS. 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. Elles sont détaillées dans le rapport. Il est important de considérer de surcroît que les différentes approches CSMS peuvent être combinées afin de tirer parti au mieux de toutes les informations et de toutes les connaissances disponibles. On ne distingue donc pas d'options en matière de méthode d'autant qu'elles ne seraient pas un facteur de différenciation significatif du coût des scénarios techniques.

3.4 Les scénarios techniques retenus

Les six scénarios techniques formulés ci-dessous se distinguent par leurs options en matière d'échantillonnage et de prospection. Leurs coûts de mise en œuvre ont été évalués en fonction du coût moyen estimé de caractérisation d'un profil de sol, évalué à 1800 €, du nombre de profils à caractériser en fonction de l'échantillonnage visé, des coûts liés à des prospections de terrain et d'un soutien à la capitalisation des données.

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 à 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 à 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 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 à ce stade les coûts de production des CSMS.

4 Les scénarios organisationnels

L'élaboration des scénarios organisationnels a fait l'objet d'un exercice collectif 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 au travers d'une démarche prospective 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.

En définissant différents scénarios possibles, 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 examinés 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.

4.1 La représentation du système de cartographie des sols en France

La Figure 4 propose une représentation générique des échanges d'information et des flux économiques entre les acteurs principaux actuels de la cartographie des sols.

La construction de scénarios a été précédée de la formulation d'hypothèses, de préférence contrastées, au sujet des composantes et variables du système. Voici, dans la Figure 5 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. 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.

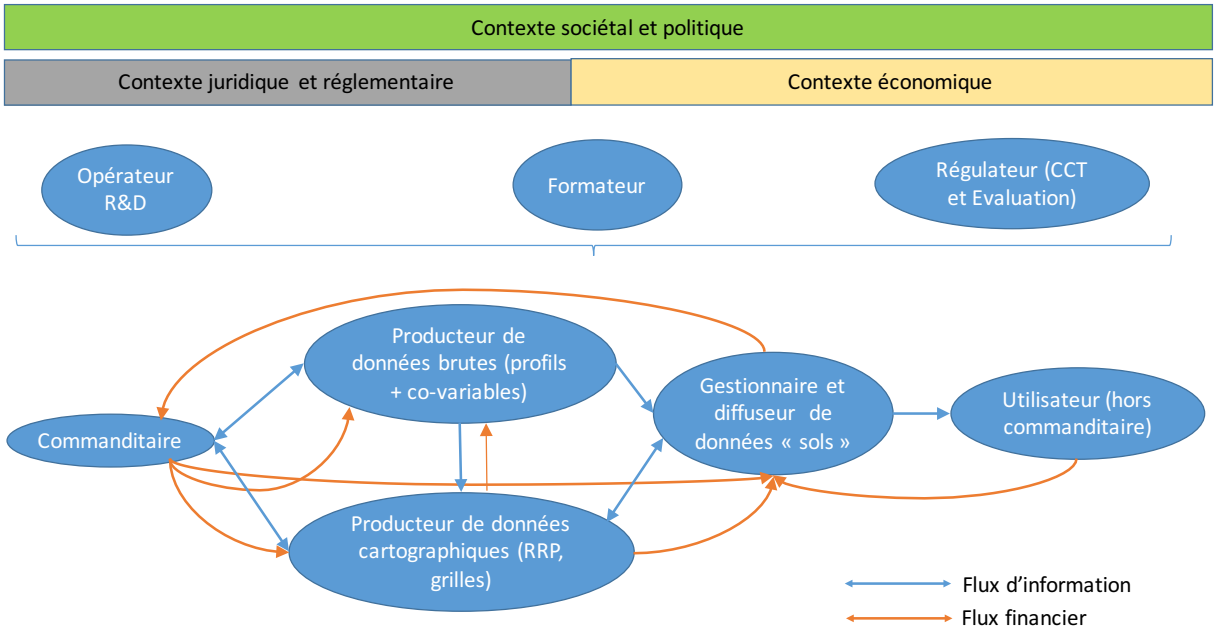

Figure 4 : Schéma organisationnel de la cartographie des sols en France. CCT= cahier des clauses techniques

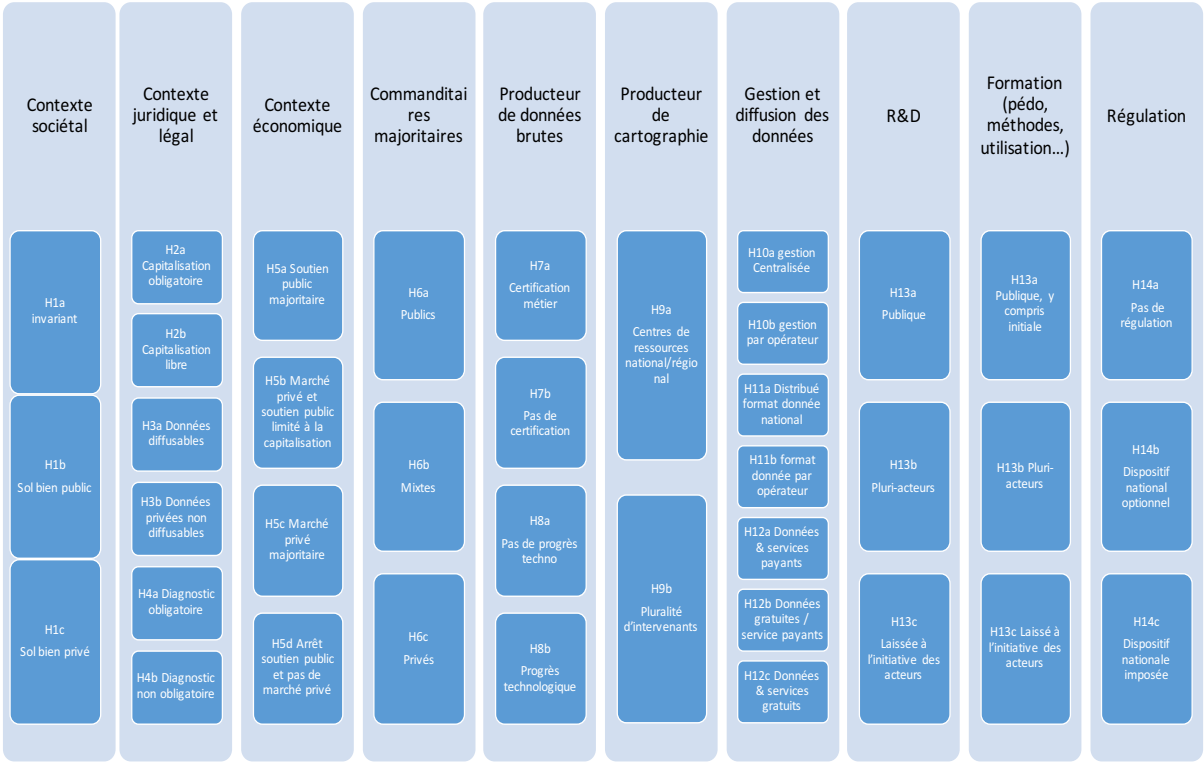

Figure 5 : Tableau des hypothèses possibles jugées déterminantes pour le développement de la cartographie des sols.

4.2 Les quatre scénarios choisis

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 des scénarios techniques présentés précédemment. Des descriptions plus détaillées de ces scénarios sont disponibles dans la version intégrale du rapport.

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.

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 relatives aux scénarios techniques ST1 à ST5, associés aux scénarios organisationnels. Ces dépenses d'acquisition de données sont supposées s'étaler sur une durée de 20 ans. S'y ajoutent celles liées à la gestion des données, leur analyse et interprétation mais également, en fonction des scénarios, aux dépenses de mise en place d'une mission d'appui, de formation et d'expertise. Pour évaluer ces coûts supplémentaires, 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 ETP nécessaires à l'acquisition des données, les coûts complets 2016 de l'unité InfoSol ont également été considérés, à savoir 1 251 K€ (soit 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.

Dans ces hypothèses, par rapport au schéma décrivant les acteurs de la filière (Figure 4), ne sont pas estimés les coûts liés aux travaux amont de R&D. Par ailleurs, les coûts ne sont pas actualisés sur les 20 ans et sont comptés comme identiques, pour les secteurs privés et publics.

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.

L'application d'une méthode complète d'accès au marché pour la cartographie des sols est une démarche nouvelle et innovante. La méthode proposée dans le rapport 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: 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. Dans le cadre du rapport la méthode ne pouvait faire l'objet d'une application complète. Elle a toutefois fait l'objet à titre illustratif d'une application sommaire au cas du scénario SO1 « neutre », que l'on peut voir schématisée en Figure 6. Une application approfondie de la démarche fait l'objet d'une recommandation du rapport afin de pouvoir appréhender au mieux dans le futur les différentes perspectives économiques pour la cartographie des sols en France.

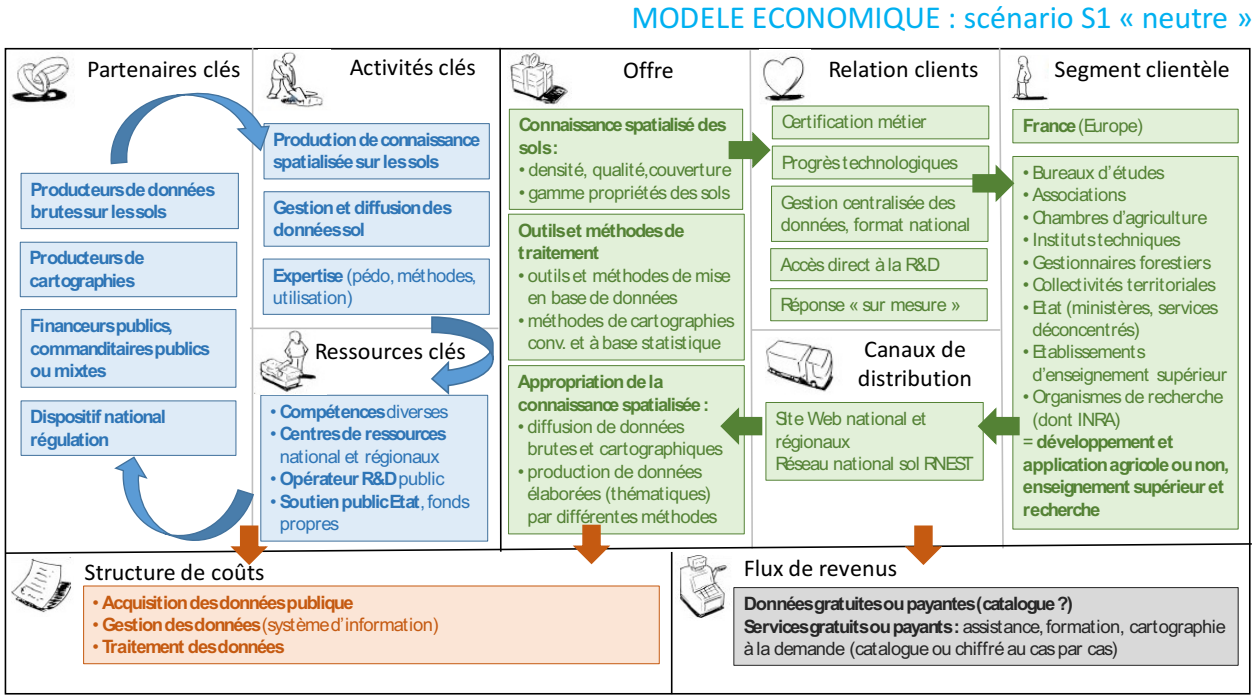

Figure 6 : Canevas du modèle économique pour le scénario actuel (SO1 « neutre)

5.3 L'évaluation multi-critère des scénarios

L'évaluation multi-critère 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 avons considéré deux types de critères : i) les critères relatifs à l'amélioration de la connaissance spatialisée des sols, ii) Les critères relatifs à l'appropriation des données sol par la société. 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.

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. **Coût du SO1 : 64 M€ sur 20 ans soit 3,2 M€/an d'effort public.**
- **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. **Coût du SO2 : 124 M€ sur 20 ans soit 4,4 M€/an d'effort public national et 2,2 M€/an d'effort privé.**
- **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. **Coût du SO3 : 64 M€ sur 20 ans soit 1 M€/an d'effort public national et 2,2 M€/an d'effort 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. **Coût du SO4 : 70 M€ sur 20 ans soit 1,3 M€/an d'effort public national et 2,2 M€/an d'effort privé.**

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 l'investissement privé a été 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.

Ainsi, 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 ont donc pour objet d'accompagner les scénarios SO2 et SO4 ou tout intermédiaire.

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. Deux actions sont envisagées pour progresser.

- **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. Il peut être construit à partir des Référentiels Régionaux Pédologiques actuels qu'il faudra enrichir par un échantillonnage spatial de nouveaux profils de façon à assurer une couverture minimum d'un profil par 2000 ha.
- **Accompagner l'effort de cartographie pédologique aux échelles locales et la capitalisation des données.** Il s'agit de soutenir des prospections pédologiques supplémentaires permettant d'atteindre localement les niveaux de précision requis, non proposés dans l'état actuel du SI Sol national. Nous proposons que la puissance publique assure un soutien financier minimum pour les commanditaires des études pédologiques réalisées aux échelles locales (prospection 1/50 000, secteurs de référence, études locales) afin que les données recueillies puissent être rétrocédées pour des usages ultérieurs.

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

- **Favoriser une organisation nationale des producteurs de données et de cartographies,** afin d'unir leurs efforts pour l'ensemble des enjeux techniques, économiques et relationnels

auxquels ils sont confrontés. Une telle organisation serait aussi un interlocuteur pour le GIS Sol et pour le réseau RNEST[6] en émergence.

- **Légitimer une instance nationale de régulation** pour définir les cahiers des charges standards, la certification des compétences, la qualification des cartographies réalisées dans des cadres IGCS et hors IGCS.
- **Créer un centre de ressources national** afin 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 i) *gérer le SI Sol national, ii) établir un réseau d'expertise pédologique et cartographique inter-régional, iii développer de la formation continue, iv) organiser les échanges et la synthèse des actions de R&D.*

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. -**Il semble donc impératif d'envisager les conditions d'un portail national d'accès aux données avec des procédures homogénéisées et transparentes d'accès aux données.**

6.4 Aider au développement d'un marché de produits services liés à la cartographie des sols

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. 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. L'analyse juridique présentée dans ce rapport indique plusieurs besoins.

- **Approfondir la typologie des situations**
- **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**.

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,** portant notamment sur les démarches de proxy et de télédétection et d'observations participatives par les acteurs de terrain
- **Conduire la transition depuis les techniques cartographiques existantes vers des démarches de CSMS intégrant les savoirs faire et l'expertise pédologique**

[6] Réseau National d'Expertise sur les sols

- **Développer des méthodes d'estimation, de représentation et d'appropriation de l'incertitude des cartographies**

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 Il s'agit donc de poursuivre l'implication internationale dans les initiatives internationales (*GlobalSoilMap, Global Soil Partnership et European Soil Part*nership), dans les programmes de recherches européens et dans la collaboration et le transfert de technologie vers les pays du Sud.

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

Référence des rapports complets

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.

Arrouays, D., Richer de Forges, A., Voltz, M., Bardy, M., Bispo, A., Lagacherie, P., Laroche, B., Lemercier, B., Michalski, J., Sauter, J., 2018. Enquête sur les perspectives d'évolution de la cartographie des sols en France : Synthèse des résultats. INRA, France, 48 pages