



29 mars 2023

Plan de cartographie des sols à l'échelle de la Suisse

N° de référence : BAFU-434.21-59684/2/4

Contenu

1	Contexte	2
2	Raison d'être d'une cartographie des sols et avantages	2
2.1	Mandat légal existant.....	2
2.2	Les avantages d'une cartographie des sols à l'échelle nationale.....	4
2.3	Données pédologiques en Suisse	6
3	Méthode de cartographie des sols à l'échelle nationale	7
3.1	Approche cartographique	7
3.2	Étapes de la cartographie des sols	8
3.3	Méthodes efficaces pour le travail sur le terrain et en laboratoire	10
3.4	Synergies et efficacité des étapes et des méthodes	12
4	Mise en œuvre financière et organisationnelle	13
4.1	Variantes possibles en matière d'organisation et de financement	13
4.2	La cartographie des sols en tant que mise en œuvre et financement conjoints	14
4.2.1	Variante 2 : mise en œuvre et financement conjoints par la Confédération et les cantons « joint venture »	15
4.2.2	Variante 3 : mise en œuvre et financement prescrit par des conventions-programmes .	16
4.3	Variantes de référence	18
4.3.1	Variante de référence « tâche fédérale »	18
4.3.2	Variante de référence « tâche cantonale » (situation actuelle)	18
4.4	Estimations des coûts.....	19
4.5	Financement.....	21
4.6	Adaptations du droit	23
4.7	Phase préparatoire	24
5	Synthèse et évaluation des variantes	25
	Bibliographie	27
	Annexe 1 : Vue d'ensemble des cartographies des sols de la Suisse	28
	Annexe 2 : Utilisation des informations sur les sols	30
	Annexe 3 : Tableau des coûts.....	31



1 Contexte

En Suisse, le sol est fortement sollicité, de plus en plus bâti et pollué. Pour pouvoir utiliser cette ressource de manière durable, il est nécessaire de disposer d'informations pédologiques fiables. Or celles-ci n'existent que pour une petite partie des sols. En mai 2020, le Conseil fédéral a adopté la Stratégie Sol Suisse et une série de mesures visant à assurer durablement la ressource sol. Dans sa **décision du 8 mai 2020**, le **Conseil fédéral** a donné le mandat suivant : « Le **DETEC (OFEV, ARE)**, en collaboration avec le **DEFER (OFAG)**, soumet au **Conseil fédéral d'ici à fin 2021 un plan pour une cartographie complète des sols de la Suisse ainsi qu'une proposition de financement correspondante** ». Le plan doit comprendre une analyse de la situation actuelle et formuler des propositions concernant la procédure et le financement. L'analyse doit mettre en évidence les travaux en cours, les responsabilités des différents acteurs, les bases légales existantes et les insuffisances de la cartographie des sols actuelle. La proposition de procédure doit définir les étapes nécessaires à la cartographie complète des sols de la Suisse, préciser la répartition des tâches et des responsabilités entre la Confédération et les cantons et indiquer les adaptations des bases légales devant éventuellement être opérées. La proposition de financement doit indiquer quel volume de moyens financiers doit être engagé, sur quelle période et à quelle fin (en précisant la répartition entre la Confédération et les cantons et en tenant compte de l'utilisation d'éventuelles synergies avec des travaux existants).

Un groupe composé de spécialistes de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), de l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) et de l'Office fédéral du développement territorial (ARE) a été mis sur pied pour diriger le projet et développer le présent plan. La gestion a été assurée par le comité de pilotage Sol, formé de membres des directions de l'OFEV, de l'ARE et de l'OFAG. Pour disposer d'une base pour élaborer le présent plan, la direction du projet a commandé des rapports spécialisés organisés en trois modules :

- Module 1 : Aspects technico-opérationnels, en particulier concernant la mise en œuvre de la cartographie des sols selon une méthode récente ; élaboré par Soilution GbR et le Centre de compétences sur les sols (CCSols).
- Module 2 : Aspects organisationnels et financiers, concernant en particulier la répartition des tâches et du financement entre la Confédération et les cantons ; élaboré par Ecoplan AG.
- Module 3 : Analyse d'impact : état des lieux de l'expérience des cantons en matière de cartographie et, sur cette base, connaissances pouvant être exploitées lors de la conception d'une cartographie des sols de l'ensemble du territoire ; élaboré par Interface Politikstudien GmbH.

Le projet de plan a été présenté aux cantons pour consultation d'octobre 2021 à janvier 2022 puis a été remanié.

2 Raison d'être d'une cartographie des sols et avantages

2.1 Mandat légal existant

Le sol est une ressource rare et non renouvelable ; il met environ 100 ans à former 1 cm bien fonctionnel. Il est essentiel à la vie des êtres humains, des animaux et des végétaux. Il constitue la base de la production des aliments et du bois, garantit ainsi un approvisionnement économique en eau potable grâce à sa fonction de filtre, stocke l'eau et le carbone, réduit les risques de crues et joue un rôle important pour le climat et l'adaptation aux changements climatiques. Outre ces multiples services écosystémiques qu'il fournit, le sol est également un habitat, souvent sous-estimé, pour la flore et la faune. Les organismes du sol jouent un rôle central dans le cycle des nutriments, la dégradation des polluants, l'humification et le bilan hydrique.

Les informations pédologiques¹ sont indispensables à l'accomplissement de nombreux mandats constitutionnels. Le sol étant une ressource non renouvelable, il est impératif, pour appliquer le

¹ Les informations pédologiques décrivent la localisation, la constitution et les propriétés chimiques, physiques et biologiques ainsi que la qualité et les utilisations possibles des sols. Seule une cartographie des sols permet de collecter et de mettre à disposition ces informations de manière uniforme.

principe du développement durable inscrit à l'art. 73 de la Constitution fédérale (Cst.), de disposer des connaissances requises à son sujet et d'intégrer celles-ci dans les prises de décision.

Les art. 102 (approvisionnement du pays), 104 (agriculture) et 104a (sécurité alimentaire) Cst. ont également une incidence directe sur le sol : en effet, l'approvisionnement de la population suisse en denrées alimentaires saines n'est pas possible sans des sols aux capacités intactes, ce qui est capital notamment en période de problèmes d'approvisionnement ou lors de pénuries graves. Afin de protéger efficacement les sols et de les gérer d'une manière adaptée tout en les ménageant, il est nécessaire de savoir quels sols sont les plus appropriés et à quels impacts ils sont sensibles.

Pour répondre aux exigences constitutionnelles dans les domaines de la protection de l'environnement (art. 74 Cst.), de l'aménagement du territoire (art. 75 Cst.), des eaux (art. 76 Cst.), des forêts (art. 77 Cst.) ainsi que de la protection de la nature et du patrimoine (art. 78 Cst.) et appliquer efficacement les lois qui en découlent, il est indispensable de disposer d'informations pédologiques fiables : des données détaillées sont nécessaires, par exemple, pour prévoir les dangers naturels tels que les crues ou les glissements de terrain et concevoir des mesures préventives correspondantes (art. 13 de la loi sur l'aménagement des cours d'eau ; RS 721.100) ou pour sélectionner des essences dans les forêts de production ou de protection (art. 20 et 33 de la loi sur les forêts [LFo ; RS 921.0]). Le régime hydrique des marécages est déterminant pour la conservation des marécages, qui contribuent à la séquestration des gaz à effet de serre notamment. Pour bon nombre de ces tâches, on peut dire que, s'il est utilisé avec soin et d'une manière typique pour sa station, le sol fournit de précieux services écosystémiques, tandis qu'une mauvaise gestion des sols a de graves conséquences écologiques et économiques à long terme.

Sur la base de l'art. 43a, al. 2 et 3, Cst. en relation avec les art. 74 Cst. (protection de l'environnement), art. 75 Cst. (aménagement du territoire), art. 104 Cst. (agriculture), art. 76 Cst. (protection des eaux), art. 77 Cst. (forêts) et art. 78 Cst. (protection de la nature et du patrimoine), une cartographie des sols à l'échelle de la Suisse doit être financée conjointement par la Confédération et les cantons (cf. chap. 4) ; elle profite non seulement aux autorités fédérales et cantonales, mais aussi à toutes les personnes privées actives dans les domaines susnommés. Le droit constitutionnel ne permet pas d'attribuer la tâche de manière claire à la Confédération ou aux cantons.

Les art. 33 à 35 de la loi sur la protection de l'environnement (LPE ; RS 814.01) constituent la base légale des mesures de protection des sols et de l'ordonnance sur les atteintes portées au sol (OSol ; RS 814.12). Bien que la transmission de données pédologiques ne soit pas explicitement mentionnée, elle constitue l'une des bases techniques nécessaires à l'exécution. L'art. 4, al. 2, OSol prescrit : « L'OFEV veille, avec l'OFAG, à ce que les cantons puissent disposer des bases techniques nécessaires à la surveillance des sols et conseille les cantons ». En outre, la Confédération doit évaluer tous les quatre ans l'état de l'environnement en Suisse et présenter un rapport (art. 10f LPE) et publier les informations sur l'environnement, si possible sous forme de données numériques ouvertes (art. 10e LPE). La connaissance des propriétés locales et de la sensibilité des sols constitue une base importante pour identifier, évaluer et prévenir les atteintes portées aux sols.

L'exécution d'autres lois, à savoir la LFo, la loi sur l'aménagement du territoire (LAT ; RS 700, art. 3, 15 et 16), la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux ; RS 814.20, art. 27) et la loi sur l'agriculture (LAgr ; RS 910.1), dépend également de la disponibilité de données pédologiques précises. En particulier, le relevé des surfaces d'assolement (SDA) est déjà explicitement réglementé par la loi : en vertu de l'art. 28 de l'ordonnance sur l'aménagement du territoire (OAT ; RS 700.1), les cantons sont tenus d'indiquer sur des cartes l'emplacement exact et la qualité des SDA. Les modalités de sauvegarde de celles-ci sont définies dans le plan sectoriel SDA, qui indique que les SDA sont désignées comme telles sur la base des relevés cartographiques des sols. Le plan sectoriel demande donc que les inventaires cantonaux des SDA soient établis sur la base de données pédologiques fiables ; il précise les conditions du relevé des données pédologiques, ainsi que les exigences qualitatives minimales (critères de qualité) posées aux SDA intégrées à l'inventaire, après que de nouveaux relevés, des revalorisations ou des réhabilitations ont été effectués (plan sectoriel SDA, 2020, principes P5 et P6). La Commission de gestion du Conseil national s'est à nouveau penchée

en 2021 sur l'état de la protection des terres cultivables². Elle a constaté entre autres que la Confédération ne dispose toujours pas de données fiables sur la qualité effective des SDA dans les cantons. Elle regrette que des améliorations n'aient pas été réalisées plus tôt dans ce domaine. Elle invite par conséquent le Conseil fédéral à intensifier ses efforts en la matière.

2.2 Les avantages d'une cartographie des sols à l'échelle nationale

Une utilisation durable des sols est intrinsèquement liée à la disponibilité de données pédologiques. Ces données résultent d'un examen systématique des sols et de l'enregistrement de leur état, de leur sensibilité et de leurs fonctions ; elles sont nécessaires à la création de produits cartographiques adaptés aux groupes cibles. À cet égard, il est urgent qu'elles soient harmonisées et disponibles dans toute la Suisse et qu'elles permettent d'illustrer les thèmes les plus divers de manière compréhensible. Les cartes donnent des indications sur les paramètres pédologiques (p. ex. le pH), les types de sol (p. ex. le sol brun), les fonctions du sol (p. ex. la fonction d'habitat) et de nombreux sujets spécifiques tels que la sensibilité à la compaction, la capacité de rétention d'eau, etc. Un grand nombre d'acteurs en bénéficient, comme en témoignent les résultats de l'évaluation de la cartographie cantonale des sols (Interface 2021).

Agriculture : une carte pédologique détaillée soutient l'adaptation de l'agriculture aux conditions locales et contribue ainsi à produire de manière plus durable et à prévenir les baisses de production. Sur la base des données pédologiques, il est possible, par exemple, de « placer » des cultures sur des terres selon la disponibilité des nutriments essentiels à leur croissance. Par ailleurs, la fertilisation peut être adaptée en fonction des besoins et de la capacité d'absorption du sol, ce qui réduit l'épandage d'engrais ainsi que les coûts et les atteintes portées à l'environnement. Les cartes de sensibilité à la compaction, telles que celles élaborées par le canton de Soleure, permettent de faire des recommandations spécifiques aux agriculteurs en indiquant comment exploiter une surface de manière adaptée au site et dans quelle mesure la surface peut supporter des équipements lourds. Dès lors, la capacité de production du sol peut être préservée à long terme. Les cartes pédologiques peuvent également être utilisées comme outil pour faire face aux changements climatiques dans le domaine agricole. En effet, utilisation optimale de l'eau prendra de l'importance du fait de l'accroissement prévu des épisodes de sécheresse estivale. Des informations détaillées sur la capacité de rétention et d'absorption d'eau des sols contribueront de manière significative à relever ce défi. Par ailleurs, les données pédologiques aident également à faire face aux fortes précipitations. Enfin, les frais d'assainissement des systèmes de drainage seront bien moindres si l'assainissement est réalisé en tenant compte du régime hydrique du sol, connu grâce à la carte des sols.

Aménagement du territoire : grâce à une carte des fonctions des sols, les bâtiments ou les zones à bâtir pourraient être placés plus spécifiquement dans des zones dont les sols présentent des fonctions³ moins précieuses. Ainsi les effets négatifs de l'imperméabilisation des sols seraient réduits, et d'importantes fonctions pédologiques seraient préservées à long terme. À l'avenir, des instruments d'aménagement du territoire pourraient se baser sur des données pédologiques afin d'offrir des incitations supplémentaires à une construction respectueuse des sols. Dans le canton de Zurich, qui dispose déjà de cartes pédologiques étendues, les données pédologiques sont d'ores et déjà intégrées dans les décisions d'aménagement du territoire. Les données pédologiques revêtent une importance particulière dans la protection des SDA. En effet, une protection efficace des sols agricoles les plus fertiles telle que prévue par le plan sectoriel SDA n'est possible que si l'on dispose d'informations sur les fonctions des sols. Une telle protection renforce à long terme la sécurité alimentaire du pays, mais elle suppose l'existence de cartes pédologiques uniformes couvrant l'ensemble du territoire. Dans une enquête menée auprès de huit cantons, le relevé des SDA et leur compensation constituaient un argument de poids en faveur d'une cartographie des sols : celle-ci suscite donc un grand intérêt bien que son utilité ne puisse guère être estimée en termes financiers.

Protection de la nature : Les données pédologiques peuvent également contribuer à la construction de l'infrastructure écologique et à la préservation de la biodiversité. Elles permettent d'identifier les

² Rapport de la Commission de gestion du Conseil national du 10 septembre 2021 : Contrôle de suivi de l'inspection « Maintien de la superficie des terres cultivables ». Voir : <https://www.parlament.ch/centers/documents/fr/bericht-gpk-n-10-09-2021-f.pdf>

³ La notion de « fonctions du sol » désigne l'aptitude du sol à fournir des services à l'être humain et à l'environnement.

zones (p. ex. les anciens sols marécageux, les sols très squelettiques) prioritaires pour la conservation de la biodiversité. En outre, elles peuvent servir à l'identification de zones-tampon suffisantes du point de vue écologique en indiquant dans quelle mesure le sol peut servir de tampon pour les nutriments, par exemple.

Changements climatiques : les données pédologiques peuvent également jouer un grand rôle dans la lutte contre les changements climatiques : la teneur exacte en carbone variant d'une zone à l'autre, les sites présentant des réserves de carbone importantes et sensibles pourraient être identifiées, ce qui permettrait d'en adapter l'utilisation de manière à réduire considérablement les émissions de CO₂. En outre, des données détaillées sur les propriétés physiques et chimiques des sols forestiers amélioreraient l'adaptation des forêts aux changements climatiques, car il serait alors possible de promouvoir, en fonction du site, des essences résistantes à la sécheresse et aux températures élevées. Ces données présentent d'autres avantages en ce qui concerne la prévention des dangers naturels et les prévisions en cas d'événement. Les sols peuvent par exemple absorber différentes quantités d'eau selon leur nature et leur utilisation. Ces connaissances sont cruciales pour la modélisation hydrologique et donc pour la protection contre les crues et la prévention des glissements de terrain et des laves torrentielles. Avec une carte pédologique couvrant tout le territoire suisse, les zones de danger correspondantes pourraient être définies plus précisément et les mesures de sécurité, définies de manière plus ciblée. En parallèle, des réservoirs d'eau très performants pourraient être mieux protégés contre l'imperméabilisation ou la compaction, ce qui permettrait d'éviter les dépenses liées à des mesures de protection coûteuses.

Protection des eaux et approvisionnement en eau potable : le sol est un filtre très efficace. En Suisse, les eaux souterraines et les eaux de source doivent pouvoir être injectées dans le réseau d'eau potable sans avoir à subir de traitement (art. 27 LEaux). Cela suppose une utilisation du sol qui ne porte pas préjudice aux eaux, de sorte que le sol parvienne à filtrer en grande partie les polluants. La cartographie complète des sols suisses fournit une base importante pour préserver à long terme le pouvoir filtrant naturel du sol et pour en tirer profit de manière adaptée à la station. Les données pédologiques recueillies peuvent par exemple servir à générer des cartes caractérisant les zones selon leurs fonctions de filtre et de tampon, ce qui permet de mieux adapter l'utilisation de pesticides en fonction du pouvoir filtrant naturel du sol. Selon une estimation, les apports de nutriments et de polluants dans les eaux souterraines et les eaux de source pourraient être réduits d'au moins 10 à 15 %, ce qui permettrait d'économiser sept à dix millions de francs par an en ce qui concerne la potabilisation de l'eau.

Forêt : le sol forestier remplit de très importantes fonctions pédologiques, pertinentes pour la prévention des crues, l'adaptation aux changements climatiques, le stockage des gaz à effet de serre et la protection contre l'érosion. Les sols forestiers sont en partie exposés à d'autres risques que les sols agricoles. On s'attend à une compaction moindre, étant donné que la conduite de machines lourdes pour la récolte du bois se fait en partie l'hiver, lorsque les sols sont gelés et offrent une meilleure portance. La cartographie des sols permet d'identifier les sols forestiers sensibles à la compaction et peut fournir ainsi une base cartographique aux services forestiers. Par contre, 95 % des sols forestiers sont pollués par des apports accrus d'azote, ce qui augmente considérablement leur acidification naturelle. Celle-ci réduit la disponibilité des nutriments, libère des ions aluminium toxiques pour les racines des végétaux et détériore les conditions de vie des organismes du sol tels que les vers de terre. La cartographie des sols améliore la base de données relative aux menaces pesant sur la biodiversité terrestre. En outre, des informations détaillées sur l'état du terrain forestier permettent une meilleure sélection des essences et contribuent ainsi à une meilleure adaptation des forêts – qui sont également d'importants puits de carbone face aux changements climatiques.

Une **évaluation** concrète et **quantitative des avantages** d'une cartographie des sols à l'échelle de la Suisse a été réalisée dans le cadre du PNR-68 intitulé « Utilisation durable de la ressource sol » (synthèse thématique 4). La valeur ajoutée des données pédologiques a été estimée pour dix exemples d'application, dont la réduction des coûts de construction pour le drainage, les économies d'engrais et la perte de rendement des céréales due à la compaction des sols. Selon l'approche adoptée, la valeur ajoutée calculée résultant des données s pédologiques est de 55 à 132 millions

de francs par an. Il convient toutefois de noter qu'une grande partie des avantages de la cartographie des sols est indirecte, par exemple en ce qui concerne la contribution à la conservation de la biodiversité et à la sécurité alimentaire. Bien que ces éléments soient essentiels à la prospérité des générations futures, il est difficile de leur attribuer une valeur monétaire. Cela étant, si l'on compare la valeur ajoutée calculée à partir d'une sélection d'exemples d'application avec les coûts d'une cartographie des sols à l'échelle de la Suisse, on obtient un très bon rapport coût-utilité (cf. 4.4 et annexe 2). Si l'on tient également compte des nombreux effets positifs indirects, les avantages gagneront davantage en importance à l'avenir. Les différentes analyses montrent clairement qu'en matière de cartographie des sols, les retours sur investissement seront multiples à long terme.

2.3 Données pédologiques en Suisse

Les données pédologiques incluent la localisation, la constitution et les propriétés chimiques, physiques et biologiques ainsi que la qualité et les utilisations possibles des sols, et donc leur diversité. Seule une cartographie des sols permet de collecter et de mettre à disposition ces informations de manière uniforme. Pour définir efficacement les attentes relatives à l'affectation des sols, la Confédération, les cantons et les communes doivent disposer à leur sujet d'informations valables et couvrant tout le territoire. De telles informations sont requises pour les SDA en vertu de l'art. 28, al. 2, OAT.

Dès 1953, la Confédération a entrepris une cartographie des sols de la Suisse par le biais du service de cartographie des sols d'Agroscope. Cependant, après que ce dernier a été fermé en 1996 en raison de réductions budgétaires, seule une minorité de cantons a continué de cartographier ses sols, et sans appliquer de méthodologie uniforme. En Suisse, les données pédologiques font donc encore largement défaut (Borer et Knecht, 2014, Nussbaum et al., 2018, Rehbein et al., 2019). Dans le cadre de l'étude de Rehbein et al. (2019), un état des lieux complet a été élaboré concernant les cartes pédologiques existantes en Suisse. Des cartographies étendues et détaillées existaient principalement dans sept cantons (BL, BS, LU, SO, VD, ZG et ZH). Ces relevés et expériences sont très précieux pour la cartographie des sols à l'échelle de la Suisse. Dans cinq autres cantons (AG, AI, BE, GL et JU), certaines zones avaient été cartographiées dans le cadre de projets de relevé des SDA et de projets d'amélioration (aperçu des cartographies cantonales à l'annexe 1).

En termes de qualité, les cartes pédologiques existantes varient beaucoup en ce qui concerne la méthode, le degré de détail et l'échelle en raison de la longue période s'étant écoulée (depuis 1950). Selon Rehbein et al. (2019), des cartes pédologiques de bonne qualité et de bonne résolution ne sont disponibles que pour environ 13 % (127 000 ha) de la surface agricole utile de la Suisse (1,05 million de ha), et pour seulement 4,1 % de la surface totale des sols suisses, soit 30 600 km². En ce qui concerne la progression, les auteurs font état de la faible étendue cartographiée ces deux dernières décennies, soit seulement 2400 ha par an, ce qui correspond à moins de 1 ‰ de la superficie restante. À ce rythme, il faudrait plusieurs centaines d'années pour produire une carte pédologique couvrant tout le pays. La cartographie complète des sols de la Suisse, réalisée avec la méthodologie actuelle et à l'échelle cible de 1 :5000, engendrerait des coûts totaux de plus de 1,4 milliard de francs (Borer et Knecht, 2014, Carrizoni et al., 2017). L'application de nouvelles méthodes cartographiques permet de réduire considérablement les coûts et de ramener le temps nécessaire à environ deux ou trois décennies (cf. chap. 3 et point 4.4).

Par rapport à d'autres pays de superficie similaire, la Suisse manque largement de données pédologiques détaillées. Actuellement, la seule carte couvrant l'ensemble du pays est une carte générale de l'aptitude des sols à l'échelle 1 :200 000 (Nussbaum et al., 2018), alors que d'autres États disposent de cartes plus détaillées. En Europe de l'Est, des cartes pédologiques à l'échelle 1 :5000 et à l'échelle 1 :10 000 ont été produites principalement dans les années 1950 à 1990. En Europe occidentale, la Belgique et l'Autriche ont établi des cartes couvrant l'ensemble du territoire à l'échelle de 1 :20 000 et 1 :25 000 respectivement, de même que l'Allemagne et les Pays-Bas, qui disposent de telles cartes à l'échelle de 1 :50 000 (Atlas des sols de l'UE, 2005). Dans 16 des 38 pays considérés, de nouvelles cartes pédologiques ont été produites ou les cartes existantes ont été mises à jour au cours des dix dernières années. Dans un tiers des pays, les cartes ont été produites au moyen de

méthodes statistiques (modélisation des sols, cartographie numérique des sols) ; ces nouvelles méthodes moins coûteuses sont également recommandées dans le cadre du présent plan.

3 Méthode de cartographie des sols à l'échelle nationale

3.1 Approche cartographique

Le CCSols a développé, en collaboration avec des spécialistes, une approche pour une cartographie des sols à l'échelle de la Suisse (Behrens et al., 2021). L'approche proposée vise un relevé uniforme des propriétés de presque tous les sols suisses. Ces sols présentent une superficie totale de 30 600 km² et comprennent l'ensemble des sols agricoles et forestiers, des sols de réserves naturelles ainsi que des sols inutilisés (à l'exclusion du pergélisol et des sols rocheux). Dans le plan, les sols urbains (p. ex. les jardins privés, les parcs, les espaces verts, les sols d'infrastructure de transport) sont considérés comme une extension possible. Dans leur cas, une adaptation de la démarche cartographique est nécessaire. Par sol, on entend les horizons A et B ainsi qu'une-partie de l'horizon C (cf. Figure 2 « Système de délimitation », adopté par la Stratégie Sol Suisse). La cartographie des sols se distingue ainsi nettement de la cartographie géologique.

L'approche prévue est axée sur une cartographie normalisée et complète des sols suisses, selon une procédure globale. Les éléments éprouvés de la cartographie de terrain d'aujourd'hui y sont combinés à de nouvelles méthodes techniques et numériques. La nouvelle approche cartographique complète la cartographie actuelle des sols par des méthodes géophysiques d'acquisition directe, de nouvelles méthodes d'analyse de laboratoire et d'analyse sur place, des analyses de séries chronologiques de données de télédétection et l'utilisation de méthodes de science des données issues du domaine de l'apprentissage automatique (McBratney et al., 2003 ; Behrens, 2018c ; Ma et al., 2019). La cartographie des sols avec description de profils pédologiques et de sondages est maintenue, mais en raison d'effets d'échelle et de coûts, le nombre de profils et de sondages peut être réduit. Par rapport à la cartographie actuelle des sols, prévue pour répondre à des questions agricoles, la gamme de produits est en outre élargie aux domaines thématiques et aux groupes d'utilisateurs mentionnés au point 2.2. Par conséquent, l'approche cartographique proposée fournit, en plus d'une carte des sols, une multitude de données complètes et non classifiées (p. ex. la valeur de pH exacte au lieu des classes « neutre », « faiblement acide », « très acide », etc.) sur les propriétés pédologiques ainsi que des cartes de base liées aux applications. Ces cartes, d'une grande précision, sont disponibles pour des évaluations et des besoins personnalisés (p. ex. des cartes de la capacité de rétention d'eau, de la sensibilité à la compaction, etc.) et peuvent être régulièrement mises à jour, si bien qu'un suivi des versions est possible. La résolution spatiale horizontale doit correspondre en moyenne à l'échelle 1 :5000 à l'instar de la cartographie précédente des sols du Plateau, toutefois, pour les sols forestiers et les sols plus difficiles d'accès (p. ex. les sols alpins), une résolution moins précise doit pouvoir être possible. Les données sur la profondeur verticale seront plus détaillées que celles du modèle actuel à deux couches (couche supérieure et la couche sous-jacente du sol uniquement), ce qui permettra de remplir efficacement les multiples exigences légales et pratiques formulées au chapitre 2, en particulier l'évaluation des multiples fonctions du sol.

La future cartographie normalisée des sols suisses se base sur la norme nationale en vigueur relative aux relevés des profils et des sondages. Les cantons qui disposent de cartes pédologiques à jour et ceux qui sont en train de cartographier leurs sols peuvent poursuivre leur travail conformément à la norme actuelle. Des adaptations méthodologiques des cartographies cantonales selon la nouvelle approche requièrent l'aval de la Confédération. Cela permet de garantir une continuité concernant les cartographies des sols en cours d'élaboration dans les cantons.

La cartographie des sols sera mise en œuvre en trois phases (Behrens et al., 2021). Au cours de la **phase 0 (phase préparatoire)** sont prévus divers travaux préparatoires, notamment l'adaptation des bases juridiques, les décisions de financement et les clarifications techniques préliminaires sur la logistique des échantillons et des données, l'opérationnalisation technique, le développement des capacités des laboratoires et les appels d'offres OMC pour la cartographie des sols. Ces travaux préliminaires devraient s'étendre sur environ cinq ans (2024 – 2028, voir point 4.7). Lorsque les décisions du Parlement auront été rendues concernant les modifications légales et les moyens

nécessaires, le travail de cartographie proprement dit pourra commencer avec la **phase 1 (exécution)**. La **phase 2 (suivi)** est destinée au post-traitement et à la validation, ainsi qu'à la création d'autres produits d'évaluation tels que des cartes d'application. D'une région à l'autre, les phases 1 et 2 peuvent être de durée variable. La cartographie des sols à l'échelle de la Suisse (phases 1 et 2) demandera environ 20 ans ; les cartes pédologiques seront mises à disposition au fur et à mesure. Une priorisation est possible, c'est-à-dire que les cartes de zones soumises à forte pression d'utilisation des terres (p. ex. sur le Plateau) peuvent être mises à disposition plus tôt. Cette priorisation sera établie, en accord avec les cantons, au cours de la phase préparatoire. Vers la fin de la phase 1 (exécution), les activités de relevé seront progressivement réduites et la charge de personnel liée au projet diminuera ainsi en conséquence. En fonction des besoins des différents groupes d'utilisateurs, les données pourront ensuite encore être traitées de manière différenciées avant leur mise à disposition. Une fois le projet achevé, des ressources resteront nécessaires pour la mise à jour des produits cartographiques et des données.

3.2 Étapes de la cartographie des sols

La cartographie des sols se déroule en six étapes (figure 1) :

1. Préparation des données environnementales et des géodonnées
2. Élaboration de la carte de modèle conceptuel, y compris plan d'échantillonnage
3. Cartographie des sols et mesures à l'aide de capteurs
4. Mesures de laboratoire
5. Élaboration de cartes
6. Interprétation et création de produits

Ces six étapes sont brièvement décrites ci-après.

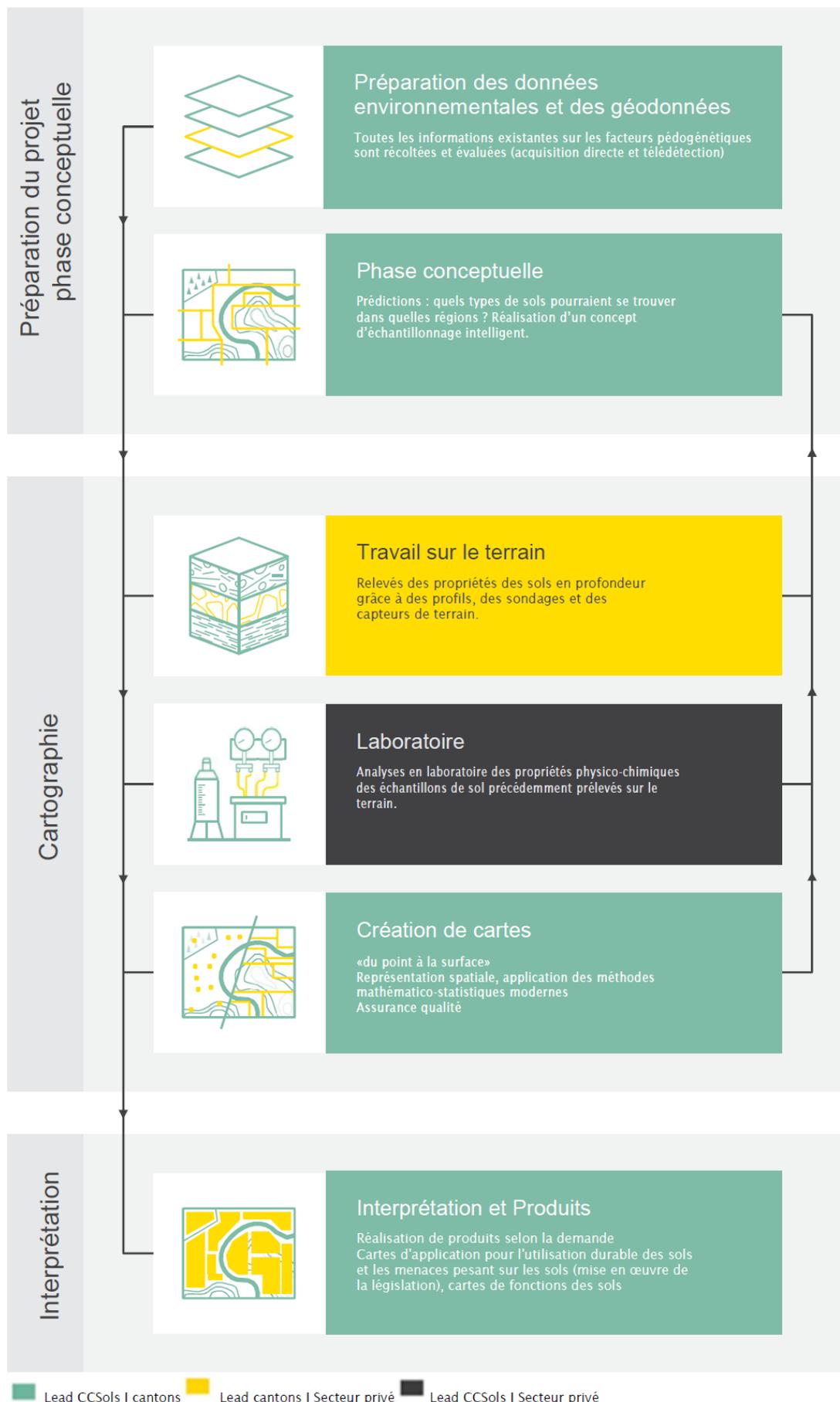


Figure 1 Procédure de base et étapes du processus d'une cartographie des sols à l'échelle de la Suisse (représentation simplifiée). La procédure allant de la phase conceptuelle à la création de cartes, itérative et flexible, est à adapter selon la région.

L'*étape 1* consiste à **compiler toutes les données environnementales et toutes les géodonnées disponibles** liées à la formation des sols et aux propriétés de ces derniers. En Suisse, de très bons jeux de données existent à cet égard, notamment le modèle altimétrique de Swisstopo et les jeux de données des satellites Landsat et Sentinel. Des jeux de données sur le climat, la végétation et la géologie ainsi que de nombreuses autres données de base sont rassemblés, tout comme les données pédologiques existantes de la Confédération et des cantons (cf. annexe 1).

Dans l'*étape 2*, les données de l'*étape 1* sont traitées, en combinaison avec les connaissances sur l'utilisation actuelle des sols, aux fins d'élaboration d'une carte d'hypothèses ou **carte de modèle conceptuel**. Cette dernière présente les zones pédologiques intercantionales uniformes en matière de formation du sol. Par conséquent, pour des raisons d'efficacité, la cartographie ne saurait s'arrêter aux frontières cantonales et doit caractériser des zones du sol qui forment un tout et peuvent s'étendre sur plus d'un canton.

Dans l'*étape 3*, un plan d'échantillonnage pour la **cartographie des sols** est établi à partir de la carte de modèle conceptuel qui a été élaborée. En s'appuyant sur celle-ci et sur le plan d'échantillonnage, les équipes (nombre estimé : 16 à 18) prélèvent simultanément des échantillons de sol sur les sites identifiés (pour les mesurer ensuite en laboratoire) ou mesurent certaines propriétés pédologiques directement sur place (cf. Figure 2). Les équipes doivent autant que possible échantillonner les sites qui figurent dans le plan d'échantillonnage, mais elles peuvent aussi déterminer leurs propres points d'échantillonnage en fonction des conditions locales et de leur expérience. Le rapport entre les points déterminés par la modélisation et ceux choisis par l'équipe chargée de la cartographie devrait être en moyenne de 2:1. Comme expliqué au point suivant, le nombre de sites échantillonnés sera fonction de l'utilisation du sol. Les échantillons prélevés et les données mesurées sont transmis au laboratoire.

L'*étape 4* consiste en des **analyses de laboratoire**, dont certaines sont effectuées immédiatement afin de pouvoir donner aussitôt un retour d'information à l'équipe de cartographie sur le terrain. Ce retour d'information rapide est essentiel pour l'assurance qualité et pour pouvoir réagir avec souplesse à des imprévus. Les analyses approfondies sont réalisées ultérieurement, notamment durant la période hivernale, lorsque le travail sur le terrain est limité en raison du gel. Une utilisation optimale des ressources est ainsi garantie tout au long de l'année.

L'*étape 5* est consacrée à la création, sur la base des résultats de laboratoire et de la cartographie de terrain, de la **carte numérique des sols**, sur laquelle figurent des polygones de mêmes propriétés pédologiques. Cette carte pédologique et le jeu de données qui la sous-tend constituent la base du travail de l'*étape* suivante.

L'*étape 6* consiste à élaborer d'autres **interprétations**, par exemple l'évaluation des fonctions des sols, et des **cartes d'application**. Celles-ci peuvent, par exemple, représenter la sensibilité des sols à la compaction, ce qui permet aux agriculteurs et aux services de vulgarisation agricole de savoir comment maintenir la fertilité des sols. Pour tous les domaines énumérés au point 2.2, des produits et des cartes d'application ont été conçus afin de tirer le plus grand bénéfice possible de la cartographie des sols. Ces cartes d'application ainsi que la carte des sols et l'ensemble des données pédologiques doivent être librement accessibles, conformément aux dispositions concernant l'accès aux informations sur l'environnement (art. 10e LPE), à la stratégie Open Government Data de la Confédération⁴ et à la convention d'Aarhus ratifiée⁵.

3.3 Méthodes efficaces pour le travail sur le terrain et en laboratoire

Une large gamme de données de télédétection est utilisée dans la nouvelle méthode de cartographie des sols. Les progrès réalisés en matière de numérisation, de modélisation des sols et de disponibilité de bases numériques (y c. modèles altimétriques à haute résolution), ainsi que les méthodes de mesure établies au niveau international encore non utilisées en Suisse, et une étroite interconnexion de toutes les étapes du processus mentionnées au point 3.2, conduisent à des gains majeurs en efficacité par rapport à la cartographie des sols réalisée jusqu'à maintenant.

Avant de pouvoir prélever des échantillons sur le terrain, il convient de préparer une carte de modèle conceptuel et un plan d'échantillonnage, comme indiqué au point 3.2. Sur la base d'interprétations des séries de données Landsat récoltées depuis 1985, il est possible d'identifier des zones présentant une

⁴ Stratégie fédérale en matière d'OGD : <https://www.fedlex.admin.ch/eli/fga/2019/125/fr>

⁵ Convention d'Aarhus : https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/droit/info-specialistes/convention-d_aarhus.html

minéralogie identique ou similaire et donc une uniformité en matière de formation du sol. Cependant, les données satellitaires ne peuvent être utilisées pour des déductions pédologiques directes que si le sol n'a pas de couverture végétale, ce qui n'est le cas, par intermittence, que pour les terres arables. Malgré une résolution de 30 x 30 m seulement, les données Landsat sont déjà utiles pour la cartographie des sols. Le potentiel des nouveaux satellites Sentinel du programme Copernicus est en cours d'évaluation, mais le problème de la couverture végétale ne peut être réglé. Néanmoins, il est possible de faire des déductions phénologiques et pédologiques pertinentes à partir de données satellitaires pour les herbages également.

Avec un plan d'échantillonnage à leur disposition, les équipes de terrain peuvent commencer leur travail de cartographie. Pour la nouvelle cartographie complète des sols à l'échelle de la Suisse sont prévus les cinq réseaux de mesure d'échantillonnage suivants.

1. Capteurs de terrain I : mesures de terrain par spectroscopie gamma⁶
2. Capteurs de terrain II : mesures spectroscopiques⁷ vis-NIR
3. Sondages I : mesures de laboratoire
4. Sondages II : description pédologique
5. Profil : description pédologique du profil

Les réseaux de mesure se distinguent entre eux par le volume de travail nécessaire et par leur densité spatiale : la description de profil à réaliser (relevé détaillé)⁸ est seulement effectuée sur 4 à 7 points environ pour 100 ha, tandis que les mesures plus simples au moyen de capteurs de terrain sont beaucoup plus denses et se font sur beaucoup plus de points. Les cinq réseaux de mesure sont en outre organisés hiérarchiquement, c'est-à-dire que lorsqu'on procède à un relevé détaillé, on effectue aussi les relevés plus simples (qui lui sont subordonnés). Par exemple, sur un site d'échantillonnage du type « Sondages I », les deux relevés spectroscopiques « Capteurs de terrains I et II » sont aussi effectués. La description d'un profil, c'est-à-dire le relevé détaillé, implique aussi la réalisation des quatre autres mesures. La figure 2 montre cette hiérarchie des réseaux de mesure à travers l'exemple d'un site d'une commune suisse.

⁶ La spectroscopie gamma permet de mesurer indirectement des propriétés pédologiques, telles que la teneur en argile et la minéralogie.

⁷ La spectroscopie dans le visible et le proche infrarouge permet de mesurer indirectement des propriétés pédologiques telles que la teneur en carbone, le pH ou la texture.

⁸ Les profils pédologiques décrivent les propriétés du sol (p. ex. la teneur en humus, l'acidité, la granulométrie, etc.) dans les un à deux mètres sous la surface. De plus amples informations sont disponibles sur le site <https://www.nabodat.ch/index.php/fr/services/outils-pour-la-description-des-sols>. Voir aussi <https://www.agroscope.admin.ch/dam/agroscope/fr/dokumente/themen/umwelt-ressourcen/boden-gewaesser-naehrstoffe/faszination-boden.pdf.download.pdf/Praesentation-Bodenkalender.pdf>

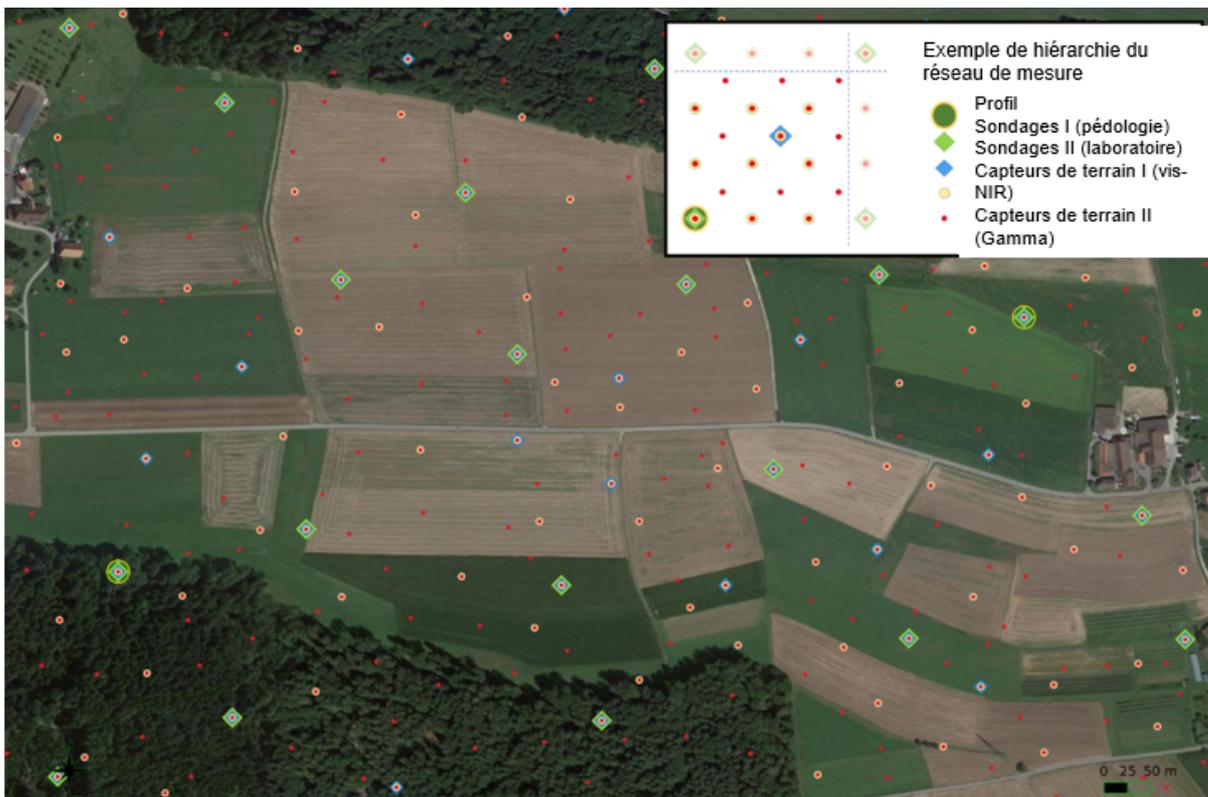


Figure 2 Schéma et exemple de l'approche hiérarchique proposée pour une cartographie couvrant tout le territoire suisse. Les profils et les sondages (norme actuelle) sont complétés par des échantillons de laboratoire provenant de sondages, et au moyen de capteurs de terrain. Les coordonnées du site sont enregistrées dans le plan d'échantillonnage en tant que résultats de la carte de modèle conceptuel ou déterminées par l'équipe de cartographie en fonction des conditions locales.

Les capteurs de terrain sont utilisés pour mesurer indirectement des propriétés pédologiques importantes, tâche qui demanderait davantage de travail si elle était réalisée en laboratoire. Il en résulte une augmentation significative de l'efficacité par rapport à la méthode de cartographie actuelle.

La création d'une carte des sols harmonisée à l'échelle de la Suisse suppose des analyses de laboratoire efficaces et méthodiquement uniformes pendant toute la durée du projet. Il est donc indispensable de normaliser les procédures d'analyse et les types d'équipement utilisés. En outre l'analyse en laboratoire doit s'effectuer dans un délai convenable après l'échantillonnage, de manière que les analyses de laboratoire puissent servir à valider et orienter le travail sur le terrain. Idéalement, un laboratoire spécifique est chargé de cette tâche pendant toute la durée de la cartographie des sols. La question de savoir si ce service doit être géré de manière centralisée par la Confédération ou par des prestataires privés fait encore l'objet de discussion

3.4 Synergies et efficacité des étapes et des méthodes

Les étapes et méthodes décrites aux points 3.2 et 3.3 permettent une cartographie efficace des sols suisses. Des méthodes basées sur des capteurs de terrain, établies au niveau international mais encore non appliquées en Suisse, font qu'il est possible de déterminer d'importantes propriétés pédologiques de manière plus économique et rapide tandis que l'approche des réseaux de mesure hiérarchiques avec différentes densités spatiales améliore l'efficacité de la réalisation de la cartographie des sols. Grâce à une numérisation systématique à toutes les étapes, la traçabilité, le contrôle de la qualité et l'accès de tous les utilisateurs aux données sont plus faciles à réaliser qu'auparavant. La numérisation rend aussi plus simple, ultérieurement, le fait de mettre les informations pédologiques à jour, et d'en intégrer de nouvelles. À l'avenir, des données pourront donc facilement être intégrées à la cartographie des sols à l'échelle de la Suisse, par exemple en cas de projet de renaturation, de recherche, de cartographie ou de construction. Ainsi, la carte des sols et l'ensemble des données pédologiques qui la sous-tendent conserveront leur valeur à long terme, et les cartes d'application pourront être mises à jour « automatiquement ».

Pour réellement obtenir l'efficacité décrite, il est indispensable d'adopter une approche intercantonale. Afin de minimiser les coûts, les équipes de cartographie doivent être en mesure de cartographier les zones pédologiques qui s'étendent au-delà des frontières d'un canton. Les conditions-cadres organisationnelles et juridiques nécessaires doivent être élaborées en conséquence (cf. chap. 4). Pour la validation du travail sur le terrain, il convient de veiller en outre à coordonner étroitement l'échantillonnage et les analyses de laboratoire. Il est donc judicieux de mettre en place ou de mandater un laboratoire spécifique qui analyse les échantillons avec des méthodes harmonisées pendant toute la durée du projet et qui entretient un échange permanent avec les équipes de terrain et l'interprétation scientifique des données par le CCSols.

Grâce à une interaction efficace de toutes les étapes (fig. 1), il est possible de réagir rapidement et avec souplesse aux difficultés et aux problèmes rencontrés. Ainsi, l'assurance qualité des données pédologiques collectées atteint un niveau élevé. Sur le plan opérationnel, l'assurance qualité est réalisée à différents niveaux, d'une part au niveau technologique et méthodologique et d'autre part, par un contrôle continu du projet et une gestion des risques adaptée. Les résultats de la cartographie des sols sont rapidement disponibles sous forme numérique, tout comme les cartes d'application. Ces dernières contribuent à garantir que nos sols puissent être utilisés de manière durable et que leurs fonctions et leur fertilité profitent également aux générations futures. Toutes les parties prenantes peuvent ainsi tirer bénéfice de la cartographie des sols suisses.

4 Mise en œuvre financière et organisationnelle

4.1 Variantes possibles en matière d'organisation et de financement

Sur la base de l'approche cartographique décrite au chapitre 3, différentes variantes ont été élaborées pour assurer l'organisation et le financement d'une cartographie des sols à l'échelle de la Suisse (Ecoplan 2020) :

- **Variante 1 : projet de la Confédération** : La Confédération organise et finance elle-même l'ensemble des activités, la tâche étant purement fédérale. L'exécution est assurée par un mandataire, qui assume le rôle d'une « entreprise générale ».
- **Variante 2 : mise en œuvre et financement conjoints par la Confédération et les cantons (« joint venture »)** : La Confédération et les cantons conviennent au préalable de la mise en œuvre centralisée de la cartographie des sols et confient conjointement à un mandataire l'exécution de la tâche. Le financement est pris en charge conjointement (p. ex. pour moitié chacun) par la Confédération et les cantons.
- **Variante 3 : mise en œuvre et financement prescrit par des conventions-programmes (CP)** : À l'instar des variantes 1 et 2, le projet est coordonné et exécuté par un mandataire selon une méthode uniforme. Contrairement à la variante 2, les cantons mandatent et paient les bureaux de cartographie, et assument ainsi une partie importante des coûts. La Confédération finance les étapes principales du travail et participe aux coûts des travaux de cartographie à travers les CP. Les prescriptions de la Confédération sont très complètes afin d'assurer une mise en œuvre efficace et uniforme.
- **Variante 4 : tâche cantonale – la Confédération n'émet que des recommandations** : La cartographie relève principalement de la compétence des cantons. La Confédération émet des recommandations sur la méthodologie, et le CCSols conseille les cantons sur les questions méthodologiques et organisationnelles.

Les variantes 1, 2 et 3 se basent sur la nouvelle méthode de cartographie des sols à l'échelle de la Suisse (cf. chap. 3). Elles prévoient toutefois différents systèmes de financement et différentes attributions de tâches aux cantons, ce qui influence l'efficacité de la mise en œuvre standardisée et de la méthodologie. Quant à la variante 4 (poursuite du système actuel), elle ne permettrait probablement pas de réaliser une cartographie uniforme des sols dans l'ensemble de la Suisse.

Comme expliqué au point 2.1, il est justifié du point de vue du droit que la cartographie des sols à l'échelle du pays soit mise en œuvre conjointement par la Confédération et les cantons. Les deux variantes correspondant à cette approche seront traitées de manière détaillée, les solutions axées sur une approche purement fédérale ou cantonale étant considérées comme des variantes de

référence et n'ayant pas fait l'objet de la consultation. Il convient de préciser que le présent plan de cartographie des sols à l'échelle de la Suisse ne peut être mené à bien que si la Confédération, à travers le CCSols, peut émettre des prescriptions très précises sur le plan méthodologique et organisationnel et si certaines étapes de travail sont réalisées de manière centralisée (cf. chap. 3).

4.2 La cartographie des sols en tant que mise en œuvre et financement conjoints

Les paragraphes qui suivent montrent de quelle manière la cartographie des sols peut être mise en œuvre conjointement et comment la collaboration entre la Confédération et les cantons pourrait être réglée.

Financement commun : La Confédération et les cantons financent conjointement la cartographie des sols. Ils conviennent d'un mécanisme d'indemnisation détaillé et fixent le niveau de participation fédérale.

La Confédération subordonne sa participation financière :

- à la participation commune au projet (« joint venture » ou CP),
- à l'application des prescriptions méthodologiques et
- à un calendrier convenu qui permette une mise en œuvre centralisée, adéquate et rationnelle en termes de coûts.

Eu égard aux prestations déjà réalisées par les cantons, il est probable que le travail de cartographie de terrain puisse être facilité. Les cartes pédologiques et les relevés de profils déjà existants devraient faciliter la cartographie des sols concernés avec la nouvelle méthode. Toutefois, seuls 13 % des surfaces agricoles suisses sont actuellement cartographiés à l'échelle et à la combinaison de données appropriées. La question de savoir dans quelle mesure prendre en compte les cartographies existantes dans les aspects de financement reste à éclaircir. Cependant, les surfaces cartographiées qui ont déjà bénéficiées de subventions fédérales ne sont pas éligibles (par exemple, les cartographies du sol provenant de projets d'améliorations foncières).

Coordination de l'ensemble du projet : Il est prévu que la cartographie soit coordonnée à l'échelle de la Suisse ; la gestion sera assurée par la Confédération et les cantons et la mise en œuvre opérationnelle sera confiée à un mandataire (voir paragraphe suivant).

Au cours de la phase préparatoire, la Confédération et les cantons devront mettre en place la structure commune chargée d'attribuer les mandats, y c. l'organisation du projet. L'organisation du projet devra assurer la coordination générale. Son champ d'activité couvre toutes les étapes du projet, de la préparation des bases légales à la détermination du mandataire et à la clarification du rôle du CCSols, en passant par l'établissement d'une convention de collaboration entre la Confédération et les cantons, l'élaboration du budget et la planification des processus de financement tant au niveau fédéral que cantonal. Elle devra en outre poursuivre la mise en œuvre opérationnelle en collaboration avec le mandataire en mettant en place l'infrastructure du projet.

Pour la phase 1 (exécution), la gestion sera assurée conjointement par la Confédération et les cantons et l'exécution opérationnelle sera coordonnée par le mandataire. Toutes les parties prenantes devront être impliquées. En outre, un groupe de consultation se révélera judicieux pour les questions techniques (représentation des offices ainsi que des principales associations spécialisées, p. ex.).

Organisation et tâches centrales du mandataire : Le bon déroulement de la cartographie des sols sur une période d'environ deux décennies nécessite un haut degré d'organisation ainsi qu'une planification fiable. Un mandataire central coordonnera l'ensemble du projet et planifiera les sous-projets de manière à assurer l'application harmonisée de la méthodologie à l'échelle de la Suisse et à garantir une utilisation équilibrée des capacités du laboratoire et des bureaux de cartographie privés. Le mandataire devra aussi se charger de certaines étapes centrales du travail, comme la détermination de la plupart des points de relevé, l'assurance qualité ainsi que l'établissement des cartes des sols. Il mettra en place à cet effet la logistique correspondante ainsi que l'infrastructure informatique. Il achètera également certains équipements destinés à la collecte des données (p. ex. véhicules spécialisés pour le prélèvement des échantillons de sol).

Prescriptions en matière de méthode : Pour atteindre l'objectif d'une cartographie unifiée et efficiente à l'échelle de la Suisse, la Confédération et les cantons doivent édicter des prescriptions détaillées sur la méthodologie à appliquer. Ces prescriptions seront élaborées par le CCSols, et ses principaux éléments inscrits dans une ordonnance de la Confédération, à condition que la base légale et formelle correspondante existe. Les cahiers des charges des bureaux de cartographie chargés d'effectuer le relevé des données seront aussi fortement influencés par le mandataire, en collaboration avec le CCSols, au niveau du contenu.

Obligation de cartographie et dates limites : Le fait de pouvoir obliger les cantons à cartographier leurs sols (obligation de cartographier) nécessite des adaptations légales. Un délai réaliste pour l'achèvement des cartographies (date limite) devra également être inscrit dans la législation (cf. 4.6).

Flexibilité : Les cantons pourront faire connaître au préalable leurs éventuels besoins spécifiques (p. ex. relevé d'indicateurs supplémentaires, ou densité d'échantillonnage accrue). Ces demandes seront pris en compte dans la mesure où la méthodologie de la cartographie à l'échelle suisse le permet, et si les coûts supplémentaires sont pris en charge par les cantons. En cas de conflit, la priorité sera donnée à une mise en œuvre rapide de la cartographie des sols suisses sur la base d'une méthodologie harmonisée.

Implication des parties prenantes : La cartographie des sols à l'échelle de la Suisse impliquera toutes les parties prenantes (p. ex. les cantons, les communes, les secteurs de l'agriculture, de la sylviculture, de l'environnement, de l'aménagement du territoire). Elle tiendra compte des différences linguistiques, des spécificités locales et régionales ainsi que des compétences locales et s'effectuera en dialogue avec les propriétaires fonciers, les associations régionales et les associations nationales spécialisées en la matière

4.2.1 Variante 2 : mise en œuvre et financement conjoints par la Confédération et les cantons « joint venture »

La variante 2 « joint venture » prévoit que la Confédération et les cantons conviennent au préalable d'une mise en œuvre centralisée de la cartographie et financent celle-ci conjointement (50 % Confédération, 50 % cantons). La Confédération et les cantons donnent ensemble un mandat correspondant à l'intention du mandataire, lequel planifie et organise les travaux.

L'approche centralisée de la variante 2 permet de réaliser des économies d'échelle importantes et d'effectuer la cartographie des sols de manière plus rentable pour la Confédération et les cantons. L'un des principaux avantages de la variante 2 est qu'elle simplifie considérablement la gestion administrative du projet (CP, cf.4.2.2) Seule une cartographie centralisée doit être réalisée au lieu de 26 projets cantonaux ayant chacun son organisation et sa mise en œuvre. En outre, la variante 2 conduit « automatiquement » à un ensemble de cartes pédologiques harmonisées à l'échelle de la Suisse, tandis que la variante 3 nécessiterait l'assemblage des cartes cantonales individuelles et éventuellement un traitement à posteriori afin de régler des incohérences concernant des zones s'étendant sur plus d'un canton.

Les économies résultent notamment dans la possibilité de centraliser, à travers le mandataire, les appels d'offres pour les travaux de cartographie (qui représentent de loin la plus grande partie du projet sur le plan financier), ce qui évite aux cantons de devoir mettre en place leurs propres ressources techniques et administratives et consacrer ainsi du temps aux questions procédurales et aux recours. Le travail des bureaux de cartographie pourra être mieux coordonné, ce qui permet d'éviter une concurrence entre cantons à l'égard de la disponibilité limitée du personnel spécialisé en charge de la cartographie. L'approche centralisée présente en outre des avantages sur le plan méthodologique : les lots de cartographies peuvent être directement adaptés aux régions pédologiques de la Suisse et cela indépendamment des frontières cantonales, ce qui a des effets positifs sur la qualité du produit final et l'efficacité des travaux de cartographie. En outre, la durée de ces derniers à l'échelle nationale serait légèrement réduite par rapport à la variante 3 (CP). La réussite de la variante 2 est toutefois conditionnée à la volonté de la Confédération et des cantons de s'engager dans un projet commun de grande envergure.

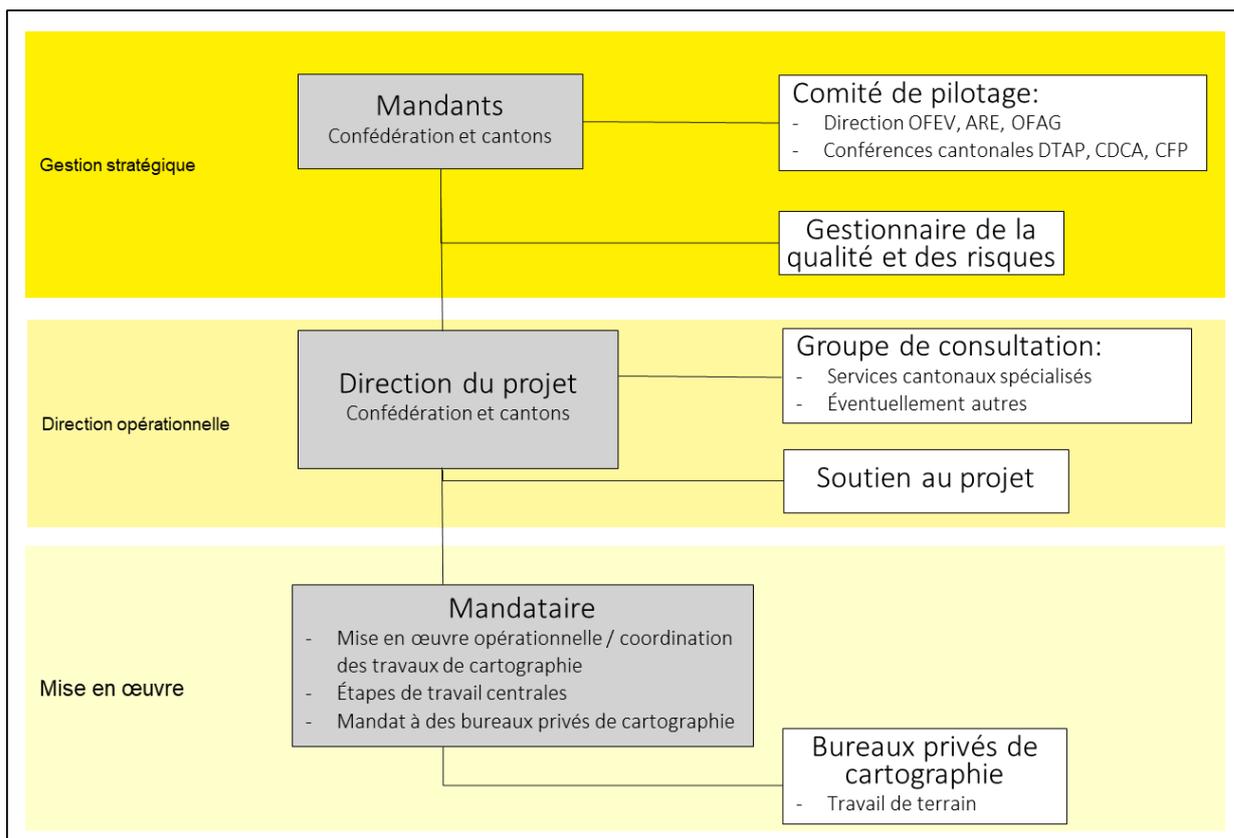


Figure 3 : Pilotage de la variante 2 (« joint venture »)

Le pilotage du « joint venture » (variante 2) est une tâche partagée entre la Confédération et les cantons pour laquelle ces derniers sont les mandants sur le plan stratégique. Ils règlent ainsi la cartographie des sols et leur collaboration par le biais d'une convention-cadre⁹. La direction opérationnelle est assurée par une direction de projet, qui mandate le mandataire pour la mise en œuvre du projet. La Confédération conclut une convention de prestations avec le mandataire et avec le CCSols pour les travaux liés à la cartographie des sols à l'échelle de la Suisse. Le mandataire est responsable de la mise en œuvre opérationnelle et de la coordination ; il mandate des bureaux de cartographie au moyen de contrats d'entreprise et réalise lui-même des étapes principales du travail. Le CCSols est responsable de la méthode de cartographie et assiste le mandataire en ce qui concerne les questions méthodologiques et techniques.

La nouvelle base juridique à créer permettra également d'inscrire dans la loi le moyen de financement « joint venture » (cf. 4.6). Les modalités seront ensuite réglées, sur cette base, par exemple dans une ordonnance ou une convention. Il est prévu que l'argent des cantons destiné aux cartographies soit versé au mandataire et au CCSols par l'intermédiaire de la Confédération. La Confédération peut ainsi garantir un flux financier constant vers le mandataire et le CCSols, et la gestion de la qualité et des risques (y compris le contrôle financier des travaux), peut être assurée par un organe unique et central. Le désavantage de cette variante est que la collaboration entre la Confédération et les cantons sous la forme d'une « joint venture » est encore peu pratiquée ; sa mise en place sur le plan organisationnel exigera donc une charge de travail initiale relativement élevée, mais celle-ci sera ensuite probablement compensée par les gains d'efficacité opérationnels lors de la phase de mise en œuvre.

4.2.2 Variante 3 : mise en œuvre et financement prescrit par des conventions-programmes

La variante 3 consiste à réaliser la cartographie au moyen de l'instrument des CP. À la différence de la variante 2, les cantons engagent et paient eux-mêmes les bureaux de cartographie, et reçoivent pour cela des subventions de la Confédération. Pour les étapes de travail réalisées de manière centralisée, le mandataire reçoit la plus grande partie du financement de la Confédération, par exemple pour le

⁹ Ou plusieurs, si des conventions individuelles avec les cantons sont souhaitées.

développement du plan de cartographie, l'interprétation et la production de cartes pédologiques ainsi que l'assurance qualité. Pour ces travaux, la Confédération conclut une convention de prestations avec le mandataire et avec le CCSols.

Contrairement aux CP existant dans le domaine de l'environnement, qui exigent des négociations approfondies entre la Confédération et les cantons et qui laissent aux cantons une grande marge de manœuvre dans l'exécution, les CP proposées pour la cartographie des sols sont des conventions standardisées. Elles fixent essentiellement la période de réalisation de la cartographie et la contribution fédérale, et contiennent les prescriptions méthodologiques uniformes (p. ex. cahiers des charges pour les bureaux de cartographie). Les CP prévues seraient plutôt comparables aux conventions dans le domaine de la géoinformation, plus concrètement de la mensuration officielle, où des prescriptions méthodologiques strictes sont définies dans une ordonnance. La variante 3 va cependant encore plus loin, en particulier en matière de coordination intercantonale : toutes les activités des cantons devront être étroitement coordonnées avec le mandataire, tant au niveau du calendrier que du contenu, afin que la cartographie puisse suivre les zones pédologiques qui touchent plusieurs cantons et dans le but d'assurer une charge de travail optimale pour les bureaux de cartographie et les laboratoires. Néanmoins, dans cette variante, la planification des projets cantonaux de cartographie reste difficile, ces derniers dépendant des priorités et du financement des cantons. Une étroite coordination avec le mandataire, et le transfert de tâches centralisées à celui-ci, sont nécessaires car l'objectif est d'obtenir un ensemble de cartes pédologiques harmonisées couvrant tout le territoire de la Suisse et bénéficiant à la Confédération et aux cantons.

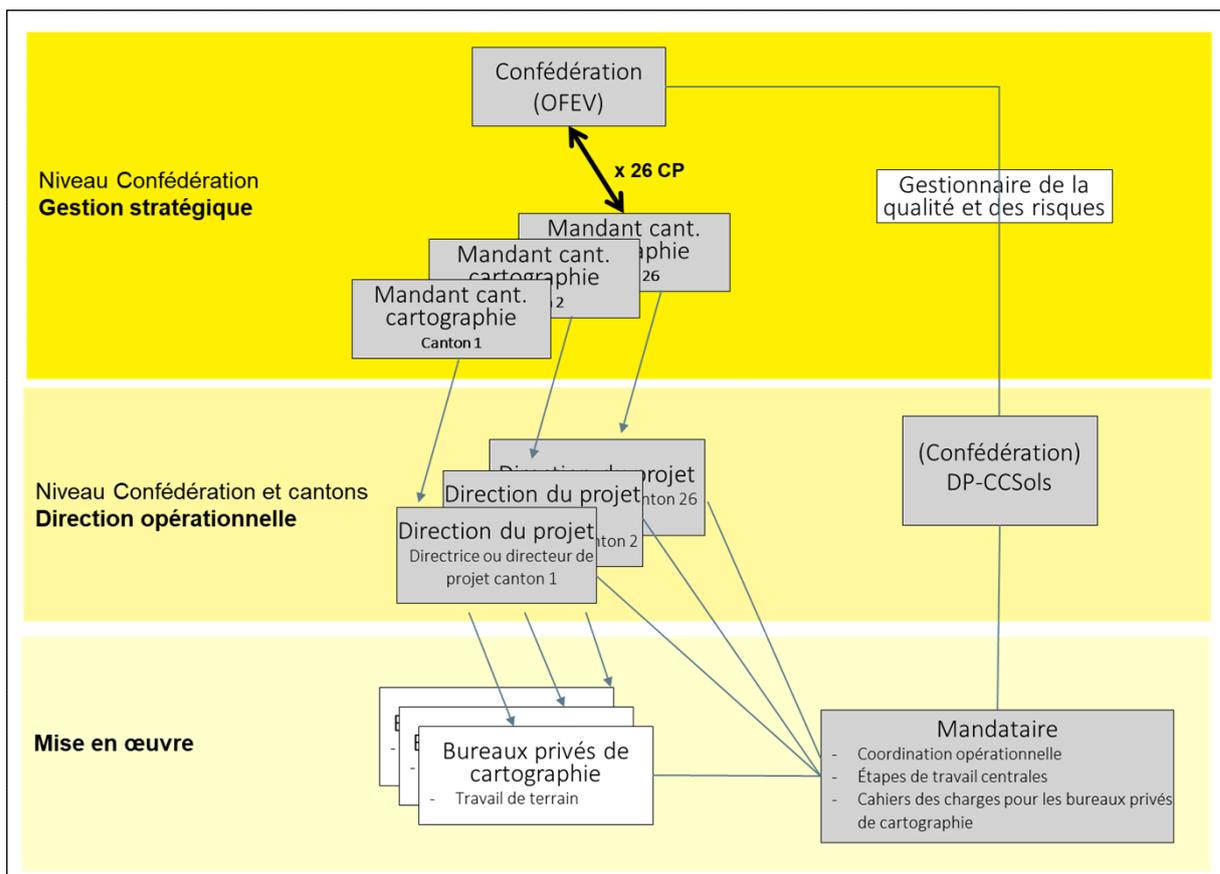


Figure 4 : Pilotage de la variante 3 « conventions-programmes »

Comme pour la variante « joint venture », le projet est dirigé par un mandataire et suit une méthodologie normalisée. Cependant, les cantons organisent et dirigent les travaux de cartographie. Ainsi, contrairement à la variante « joint venture », les cantons sont responsables des appels d'offres OMC, de l'attribution des contrats et du travail de terrain des bureaux de cartographie. Ils prennent également en charge les coûts et paient directement les bureaux de cartographie pour les prestations fournies.

En outre, vu le contexte particulier de la cartographie des sols, il est prévu d'ajouter dans les CP les deux réglementations spécifiques suivantes :

- les conventions seront conçues pour toute la durée de la cartographie d'un canton (environ 4 à 8 ans selon la superficie à cartographier) et non pour une période de quatre ans comme dans d'autres CP. Cette différence s'explique par le fait que, pour limiter le travail administratif, on s'efforcera dans la mesure du possible de ne conclure qu'une seule CP par canton. Du point de vue méthodologique, un échelonnement avec deux ou trois CP n'aurait pas de sens. La durée planifiée se base sur le temps prévu jusqu'à l'achèvement de la collecte des données dans chaque canton ;
- la législation intégrera la possibilité pour les cantons de déléguer au mandataire, si opportun, leurs tâches d'attribution des mandats et de surveillance des bureaux de cartographie privés. Le but est d'offrir en particulier aux petits cantons la possibilité de limiter au maximum leur travail administratif. Une solution analogue a fait ses preuves dans le domaine de la mensuration officielle.

La variante 3, basée sur les CP, ne permet pas de réaliser autant d'économies d'échelle que la variante 2. Par exemple, les cantons doivent mobiliser ici eux-mêmes des ressources humaines pour les appels d'offres et pour l'attribution et la surveillance des contrats de cartographie. En outre, l'harmonisation de l'ensemble des activités entre le mandataire et les cantons demande un travail supplémentaire. En revanche, cette variante a l'avantage de donner un peu plus de responsabilité aux cantons et de recourir à un instrument de financement bien établi. Si les cantons bénéficient d'une flexibilité opérationnelle, puisqu'ils réalisent eux-mêmes la cartographie des sols sur leur territoire, ils appliquent ce faisant une procédure standardisée. Étant donné que tous les cantons devraient mettre en place, au moins temporairement, des compétences spécifiques dans leurs services, cette variante pourrait entraîner des avantages supplémentaires, p. ex. renforcement de l'exécution cantonale. Certains cantons estiment que cette variante permet une communication plus directe entre les cantons et les propriétaires fonciers que la variante « joint venture ».

4.3 Variantes de référence

4.3.1 Variante de référence « tâche fédérale »

Dans la variante 1, la cartographie des sols à l'échelle de la Suisse est organisée comme un projet fédéral. Mandatée par la Confédération, le mandataire, en tant qu'« entreprise générale » planifie et coordonne la cartographie des sols de manière centralisée et attribue les mandats de cartographie à des bureaux privés. Il réalise en outre certaines étapes principales du travail met en place l'infrastructure nécessaire à cet effet et produit les cartes des sols finales sur la base des données récoltées. Toutes ces activités sont entièrement financées par la Confédération. Les cantons soutiennent les travaux de cartographie en mettant les données pédologiques existantes à la disposition de la Confédération, épaulent le mandataire dans la communication avec les communes et les propriétaires fonciers, et, grâce à leurs connaissances locales des sols, contribuent à l'assurance qualité du processus et des produits.

De par sa conception organisationnelle, la variante 1 est la solution la plus simple pour garantir l'uniformité de la procédure, tant sur le plan du calendrier que de l'approche suprarégionale ou supracantonale. Les tâches d'administration et de coordination sont réduites. Les responsabilités peuvent être définies avec précision, et la mise en œuvre est contrôlée de façon centralisée. Comme expliqué aux points 2.1 et 4.1, il convient de prévoir une mise en œuvre et un financement commun pour la cartographie des sols à l'échelle de la Suisse.

4.3.2 Variante de référence « tâche cantonale » (situation actuelle)

La quatrième variante d'organisation et de financement de la cartographie des sols (poursuite du système actuel) est aussi une variante de référence. Compte tenu des expériences de ces 20 dernières années, il n'est pas réaliste de penser que l'objectif d'une cartographie des sols harmonisée dans l'ensemble de la Suisse puisse être atteint dans un délai restreint avec cette procédure.

Dans cette variante, la principale responsabilité financière et organisationnelle reste comme jusqu'ici auprès des cantons. Par rapport au statu quo, le CCSols peut élaborer comme pour les trois autres variantes un plan détaillé permettant une cartographie des sols à l'échelle de la Suisse. Son application n'est toutefois que recommandée (l'incitation réside dans le fait que le CCSols se tient à la disposition des cantons pour les conseiller dans la méthodologie et les étapes de travail telles que la modélisation des données et la réalisation des produits). Le travail ainsi occasionné pour le CCSols est financé par la Confédération. Autrement, aucune autre incitation n'est prévue de la part de cette dernière. Les cantons sont libres de décider s'ils veulent appliquer ou non la nouvelle méthodologie, voire s'ils veulent cartographier leurs sols, sachant qu'il n'existe pas d'obligation de cartographie ni de délai fixé. Il faut s'attendre à une multiplication de méthodes, entraînant des coûts totaux élevés, les activités des cantons étant insuffisamment harmonisées et ne permettant pas d'exploiter des économies d'échelle (p. ex. pour les analyses chimiques).

4.4 Estimations des coûts

Les calculs de coûts (ci-après) intègrent la totalité des coûts du personnel, de l'administration, des appareils, du matériel, de l'informatique et des analyses occasionnées par la réalisation du projet. La phase de préparation de la cartographie des sols à l'échelle nationale entraîne des coûts et des charges de personnel supplémentaires qui ne sont pas pris en compte dans ce plan. Il s'agit en l'occurrence des coûts pour la formation des cartographes en amont du projet, pour la préparation du mandat et la recherche de sites pour le laboratoire et l'infrastructure informatique, ainsi que des coûts administratifs liés aux négociations entre la Confédération et les cantons et aux dispositifs contractuels (voir point 4.7). Tous les montants sont des estimations, aussi fiables que les possibilités actuelles le permettent. Dans le cadre de l'opérationnalisation lors de la phase préparatoire, des tests approfondis des appareils, du calendrier et du déroulement seront effectués et pourront influencer le cas échéant la densité du réseau de mesure ainsi que les coûts et/ou la durée. Ainsi, suivant les circonstances, la densité du réseau de mesure pourra diminuer ou augmenter à coûts égaux, ou les coûts et la durée pourront changer pour une même densité du réseau de mesure. Par ailleurs, les estimations des coûts se basent sur une nouvelle méthode de cartographie qui est en train d'être mise au point. Elles pourront donc encore changer en fonction des expériences qui seront faites lors de l'application de cette méthode dans la pratique. Toutes les estimations des coûts seront planifiées plus en détail au cours de la phase préparatoire.

Le Tableau 1 montre les coûts estimés et arrondis dans les catégories pertinentes (cartographie, laboratoire, modélisation et coordination, IT et logistique) pour les variantes 1, 2 et 3. Des estimations détaillées du personnel et des coûts figurent à l'annexe 3. Les estimations des coûts concernant les variantes 2 et 3 se sont basées sur la variante 1, car celle-ci est la plus facile à planifier. Pour les variantes 2 et 3, il faut ainsi s'attendre à une légère augmentation des charges de personnel et une prolongation minime de la durée par rapport à la variante 1. Les augmentations des besoins en personnel résultent du surcroît de travail d'administration, de coordination et de traitement des données durant la première phase du projet. Les calculs représentent une évaluation la plus réaliste possible et non un scénario « worst-case ».

Tableau 1 : Comparaison des variantes selon les caractéristiques financières : durée, charges de personnel et coûts totaux. Les charges de personnel ont été établies sur la base des salaires en vigueur à l'HAFL¹⁰ et des salaires actuellement usuels dans l'économie privée.

¹⁰ La Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL héberge le CCSols

		Variante:		
		1	2	3
Durée (années):		18	20	22
Coûts de personnel et de matériel (millions de francs)	Cartographie (travail de terrain)	232	256	278
	Laboratoire	62	67	72
	Modélisation	26	43	53
	Coordination, IT et logistique	50	64	72
Coûts totaux		370	430	475
Postes (EPT)	Administration fédérale	1.5	2	1 - 2
	Administration cantonale	0	2	10

Tableau 1 montre clairement qu'environ deux tiers des charges de personnel sont affectées à la cartographie sur le terrain. Celle-ci sera réalisée par des bureaux de cartographie, d'où des retombées pour l'économie privée.

La variante 4, qui n'est pas représentée dans le tableau, correspond à la cartographie réalisée dans les conditions-cadres que nous connaissons actuellement. Compte tenu des expériences faites jusqu'ici, la durée estimée serait de 80 à 450 ans et le coût d'environ 1450 millions de francs (Carrizoni et al., 2017).

Si on compare la valeur ajoutée calculée à partir d'un choix d'exemples d'application (cf. 2.2) avec les coûts d'une cartographie des sols à l'échelle suisse (entre 370 et 475 millions de francs sur environ 20 ans, soit 18 à 24 millions de francs par année), on obtient déjà un bon rapport coûts-utilité (d'au moins 2,3). Le bilan est encore plus favorable si on tient compte du fait que la cartographie des sols profitera à plusieurs générations, étant donné que les données pédologiques sont peu touchées par l'obsolescence. Le rapport coût-utilité estimé de la cartographie des sols suisses devrait par conséquent être très bon.

Bien que les coûts semblent relativement élevés, il convient de les apprécier à la lumière du gain financier lié à l'utilisation du sol. La valeur ajoutée nette par mètre carré de surface agricole utile s'élève à 20 centimes par an, et environ 11 centimes par mètre carré sont versés annuellement pour l'exploitation de ces surfaces en guise de contribution à la sécurité de l'approvisionnement¹¹. La cartographie des sols coûte en moyenne moins de 2 centimes par mètre carré et fournit en échange une excellente base de données pour une exploitation durable des sols ainsi que pour les décisions d'utilisation et d'adaptation des sols face aux défis actuels et futurs, tels que les changements climatiques ou la sécurité alimentaire (adapté de Borer et Knecht 2014).

Il est aussi intéressant de comparer les coûts de la cartographie des sols avec les coûts prévus des soins sylvicoles pour un peuplement forestier pendant 100 ans : en partant d'un coût estimé à 3000 francs par hectare pour les soins sylvicoles et d'un taux d'intérêt de 3 %, on obtient un coût final pour les soins forestiers d'environ 27 800 francs par hectare pour 100 ans (communiqué oral du professeur Moog, économie forestière, TU Munich), soit environ 2,78 centimes par an et par mètre carré. Les données pédologiques sur les sols forestiers permettent de prendre des décisions de gestion forestière plus efficaces (choix des essences, utilisation d'engins forestiers pour les soins sylvicoles et la récolte du bois) et donc de réduire les coûts des soins forestiers. Les informations sur les nutriments présents dans le sol forestier ont une importance croissante pour la planification forestière. Financée une seule fois, la cartographie des sols coûte donc un peu moins que les soins sylvicoles annuels, mais fournit en contrepartie d'excellentes bases pour une gestion forestière durable et plus avantageuse, pour déterminer la stabilité des forêts protectrices, pour éviter la compaction des

¹¹ Rapport agricole 2021 : <https://www.agrarbericht.ch/fr>

sols, pour le bilan nutritif et pour choisir les essences destinées à la régénération en vue des changements climatiques attendus.

Le besoin en postes est estimé de la manière suivante : pour la variante 2 « joint venture », deux postes EPT sont prévus pour la direction du projet, les cantons ayant besoin d'un total de deux postes EPT additionnels (tous cantons confondus) pendant la durée du projet afin d'assurer la coordination des travaux sur place (contacts avec les propriétaires fonciers, infrastructure locale, etc.). Pour la variante 3 (CP), la Confédération a besoin d'un à deux postes EPT pour l'établissement et la mise en œuvre des CP. La charge de travail des cantons est fortement accrue pour cette variante : ils doivent élaborer les appels d'offres OMC pour les bureaux de cartographie, ce qui demande en moyenne deux postes EPT par canton et par année de cartographie. Si l'on suppose que cinq cantons effectueront la cartographie en même temps et que celle-ci dure en moyenne cinq ans, cela se traduit en un besoin moyen de dix postes EPT.

4.5 Financement

S'agissant du financement de la cartographie des sols à l'échelle de la Suisse, il ne s'agit pas seulement de savoir comment la Confédération et les cantons se partageront les coûts, et qui les financera. Il faut en outre concevoir des instruments de financement spécifiques.

Tableau 2 : Répartition des coûts selon les variantes 1 à 3

Variante	1 projet de la Confédération	2 joint venture	3 conventions-programmes
Coûts totaux (millions de francs)	370	430	475
Durée	18 ans	20 ans	22 ans
Coûts par hectare	121 francs/ha	141 francs/ha	155 francs/ha
Coûts par année (millions de francs)	21	22	22
Participation financière			
- Confédération	100%	50 %: 11 millions de francs/a (dont 9 pour le laboratoire et le CCSols)	
- Cantons	-	50 %: 11 millions de francs/a	
Coûts pour la Confédération (millions de francs)	370	215	238
Coûts pour les cantons (millions de francs)	0	215	238

Le tableau 2 montre une répartition possible des coûts pour chaque variante. Les coûts annuels sont presque identiques pour les trois variantes, mais la durée, et donc les coûts totaux, diffèrent. Pour la variante 2 et la variante 3, le tableau 2 indique également quels seraient, sur toute la durée, les coûts à la charge de la Confédération et des cantons en cas de répartition à parts égales. Ainsi, les 215 millions de francs de la variante 2 ne représenteraient plus que 11 millions de francs par an à répartir entre les 26 cantons. Sur les 11 millions de francs versés par la Confédération, environ 9 millions seront directement destinés au mandataire et au CCSols pour réaliser des tâches fondamentales du projet et ne seront donc pas répartis entre les cantons par l'intermédiaire des CP.

Au cours des 20 années de cartographie, on peut s'attendre à ce que les dépenses annuelles soient à peu près constantes pour la variante 2. Elles sont susceptibles de varier plus fortement sous la variante 3, car les cantons définissent eux-mêmes le calendrier de la cartographie, ce qui aura des effets sur les moyens alloués. On peut également supposer que la durée de la cartographie sera plus longue dans le cas de la variante 3.

D'un point de vue économique, une mesure financière (ou plus généralement une intervention) de l'État est indiquée lorsqu'une défaillance du marché apparaît dans la mise à disposition d'un bien. Les produits de la cartographie des sols sont des biens pour lesquels on observe, au moins partiellement, une défaillance du marché (M. Gmünder, IWSB, 2016).

Les résultats issus de la cartographie des sols sont des outils à la disposition des autorités, des propriétaires et exploitants de terrains, des journalistes de données, des bureaux d'ingénieurs et des groupes de recherche, et soutiennent l'utilisation durable de ce bien limité qu'est le sol. Plus ces résultats sont utilisés, plus l'impact de la cartographie des sols et une utilisation optimale du site seront élevés. Dans l'intérêt d'une gestion durable du sol, les données issues de la cartographie des sols devraient donc être accessibles à tous - répondant ainsi aux principes de la stratégie Open Government Data de la Confédération. En ce qui concerne la cartographie des sols, il n'est donc pas prévu de prélever un émolument couvrant les coûts d'utilisation.

Sources de financement : en règle générale, le financement de tâches et de leurs coûts peut se faire selon le principe de causalité, de l'utilisateur-payeur ou du paiement communautaire.

- Le principe de causalité ne conviendrait ici que dans une mesure très limitée, car la cartographie n'a pas pour objet la réparation de dommages. Dans un sens large et de manière très indirecte, quiconque est à l'origine d'une perte de sol quantitative et qualitative pourrait être considéré comme responsable. En ce sens, des redevances sur la consommation de sol (p. ex. imperméabilisation) seraient envisageables.
- Le principe de l'utilisateur-payeur entre en ligne de compte pour des groupes d'utilisateurs bien définis. Selon la présentation de la synthèse thématique « Plateforme d'information des sols suisse (PIS-CH) » du PNR 68, l'administration constitue de loin le plus important groupe ayant besoin de données pédologiques pour l'exécution. Les autres utilisateurs comprennent les ingénieurs et les bureaux de planification, les chercheurs, les agriculteurs (pour les améliorations foncières), les services de vulgarisation agricole, les sylviculteurs (pour l'économie forestière), etc. À la rigueur, les données pédologiques pourraient être vendues à ce groupe d'utilisateurs. Cependant, la tendance dans le domaine des (géo)données est au contraire de privilégier une utilisation la plus libre possible afin de maximiser l'utilité. Ainsi, les produits standards de swisstopo sont disponibles en ligne gratuitement depuis le 1^{er} mars 2021.
- Reste donc le principe du paiement communautaire, donc le financement par les impôts.

Divers autres instruments dont l'utilisation pourrait être justifiée indirectement par les principes de causalité ou de l'utilisateur-payeur ont néanmoins été examinés pour le financement de la cartographie des sols. Concrètement, il s'agit des instruments (existants) suivants : fonds pour les sites contaminés, taxe sur les eaux usées, impôt immobilier (y c. impôt foncier), taxe sur les plus-values résultant de mesures d'aménagement, prélèvement de la plus-value, et taxes de remplacement pour places de stationnement. En plus de cela, les nouveaux instruments envisageables suivants ont été étudiés : redevance sur l'imperméabilisation des sols, redevance d'utilisation du sol combinée, contribution aux frais d'équipement, et redevance sur les surfaces habitables. L'analyse aboutit au constat suivant :

- À long terme et dans la perspective de l'atteinte des objectifs de la Stratégie Sol, de nouvelles taxes incitatives dans le domaine des sols pourraient être étudiées, et une affectation (partielle) de leurs recettes à la cartographie des sols serait envisageable. Cependant, la perception de ces taxes entraîne en général des frais élevés, surtout au regard du besoin financier relativement faible de la cartographie des sols. C'est pourquoi elles ne sont pas appropriées.
- Tous les impôts et taxes existants (et les fonds correspondants) n'ont qu'un lien très limité avec la cartographie des sols, et leur adaptation se heurterait à de nombreux obstacles juridiques et politiques.

De plus, en comparaison du domaine des sites contaminés et des micropolluants par exemple, il s'agit, dans le cas de la cartographie des sols, de contributions nettement moins importantes qui ne justifient ni un canal de financement spécial ni les frais de perception qu'il implique. La cartographie des sols

requerra, pendant environ 20 ans, quelque 10 à 18 millions de francs par an de la part de la Confédération.

4.6 Adaptations du droit

Compte tenu de la dimension du projet de cartographie, de la mise en œuvre et du financement conjoints entre la Confédération et les cantons, de l'obligation de cartographie incombant aux cantons et des exigences d'harmonisation de la méthode de cartographie, la cartographie des sols à l'échelle de la Suisse doit être réglée au niveau d'une loi.

S'agissant de la réglementation de la variante 2 **mise en œuvre et financement via une « joint venture »**, diverses lois sont en principe envisageables pour intégrer les prescriptions requises (en particulier la LPE et la LAT).

Les aspects suivants devraient être réglementés au niveau d'une loi :

- obligation de cartographie ;
- obligations de financement ;
- délai pour l'achèvement de la cartographie des sols ;
- accès aux données (open data) ;
- délégation au Conseil fédéral de la tâche de régler les modalités de la cartographie des sols au niveau des ordonnances ;
- délimitations par rapport à la LGéo.

Fixer un délai au niveau de la loi pour l'achèvement de la cartographie des sols permettrait d'exprimer clairement qu'il s'agit d'une tâche limitée dans le temps, sous réserve de mises à jour ultérieures. Les échéances à respecter pour les étapes possibles pourraient être édictées au niveau des ordonnances (si la loi renferme une disposition telle que « Le Conseil fédéral fixe la planification à moyen et à long terme de la cartographie des sols »). La Confédération chargerait le mandataire de planifier et d'organiser la cartographie des sols. Ce mandat ne nécessiterait pas de réglementation spéciale au niveau de la loi, pas plus que l'habilitation du mandataire à attribuer des mandats de cartographie des sols à des tiers privés. Pour l'heure, on ne peut exclure que des réglementations supplémentaires se révèlent nécessaires au cours des travaux, si des tâches supplémentaires devaient être déléguées. D'un point de vue technique, il est pour l'instant prévu d'inscrire dans des conventions administratives, outre la répartition des coûts entre la Confédération et les cantons, que les deux parties constituent un organe commun responsable de la réalisation de la cartographie des sols à l'échelle suisse et qu'elles envisagent de confier cette tâche à un mandataire.

Dans la variante 3 **mise en œuvre et financement via des CP**, la Confédération finance à travers des CP une partie des coûts de la cartographie des sols exécutée par les cantons. Pour limiter le travail administratif, il conviendrait d'examiner la pertinence de ne conclure qu'un nombre réduit de CP par canton, voire qu'une seule.

Les aspects suivants devraient être réglementés au niveau d'une loi :

- obligation de cartographie des cantons ;
- subventions fédérales par le biais de CP ;
- accès aux données (open data) ;
- date limite pour l'achèvement de la cartographie des sols (ou délégation au CF) ;
- délégation au Conseil fédéral de la compétence de régler les modalités de la cartographie des sols au niveau des ordonnances.

Pour ces deux variantes, il faut aussi s'attendre à ce qu'il faille créer certaines bases légales au **niveau cantonal** également. En outre, des décisions de financement devront probablement être prises dans tous les cantons par les organes compétents.

4.7 Phase préparatoire

Avec l'adoption du plan de cartographie des sols à l'échelle de la Suisse par le Conseil fédéral, l'OFEV, l'OFAG et l'ARE seront chargés de travaux subséquents. La responsabilité du projet incombe à l'OFEV. Les offices mentionnés doivent, quant à eux, assurer une communication régulière avec les organes et les offices fédéraux concernés, notamment la Swisstopo, la Conférence pour l'organisation du territoire et l'IDA FFF. L'objectif principal de la phase préparatoire sera de créer les conditions-cadres légales, organisationnelles, financières, techniques, opérationnelles et administratives et celles concernant les ressources humaines ainsi que d'autres aspects nécessaires afin que la cartographie puisse être mise en œuvre. En même temps, il faudra s'assurer que les travaux de cartographie en cours puissent être poursuivis jusqu'au début de la cartographie à l'échelle de la Suisse et pérenniser les compétences spécialisées existantes.

Au niveau fédéral, la phase préparatoire correspond à la période allant de la décision du Conseil fédéral concernant le plan jusqu'à la décision de financement de la cartographie des sols par le Parlement fédéral, en passant par la mise en vigueur des bases légales. En plus de l'élaboration des bases légales et d'un message relatif au financement, il faudra clarifier la collaboration avec les cantons et conclure une convention appropriée.

Au cours de la phase préparatoire, les cantons devront examiner si des adaptations légales seront nécessaires dans leur domaine de compétence, et si oui, lesquelles, et comment le financement requis pourra être autorisé. D'autres travaux préparatoires seront nécessaires, notamment pour les conventions entre la Confédération et les cantons, pour la participation à la direction du projet et à la structure commune chargée d'attribuer les mandats, sur la question de la répartition des charges financières entre les cantons et sur d'autres thèmes. Ces travaux préliminaires devront être menés conjointement avec les travaux préparatoires de la Confédération. Sur le plan organisationnel, la Confédération et les cantons pourront déjà mettre en place une organisation de projet adéquate. Une bonne coordination entre les cantons et entre les cantons et la Confédération est indispensable pour que la cartographie des sols à l'échelle de la Suisse puisse être lancée avec succès.

Pendant la phase préparatoire au niveaux fédéral et cantonal, des travaux préliminaires techniques et organisationnels devront déjà être initiés ou accomplis en vue de la cartographie des sols. Parmi ceux-ci figurent l'intégration des nouvelles méthodes de cartographie dans une méthode générale ainsi que la validation et le perfectionnement de cette dernière. L'objectif général est de développer progressivement et de mettre en œuvre la méthode de cartographie. Ces travaux préliminaires comprendront concrètement :

- la mise en place successive des infrastructures ;
- le développement et l'optimisation de la méthode de cartographie, y c. la prise en compte des méthodes existantes et des anciennes méthodes ;
- la préparation de la gestion des données, des interfaces de données et de leur interprétation ;
- l'opérationnalisation de la technique sur le terrain (projets pilotes des cantons) ;
- la conception de l'assurance qualité.

Plusieurs cantons effectuent déjà des travaux de cartographie ou veulent commencer de tels travaux après avoir reconnu l'importance des informations pédologiques pour leurs décisions. Puisque la cartographie des sols à l'échelle de la Suisse ne commencera probablement qu'en 2029, lorsqu'elle aura été réglée au niveau d'une loi, ces travaux risquent de s'interrompre ou pour le moins d'être ralentis. Étant donné qu'il est cependant indispensable que les travaux de cartographie en cours dans certains cantons se poursuivent durant la phase préparatoire, des études préliminaires seront mis en place afin d'accélérer et de concrétiser la mise en œuvre opérationnelle de la cartographie durant cette phase, comme les cantons l'ont demandé lors de la consultation. La Confédération financera les prestations fournies par les cantons dans le cadre de ces projets pilotes de cartographie en vue de vérifier et de valider les nouvelles technologies dans la pratique. Celles-ci permettront :

- de maintenir l'engagement des cantons et d'éviter l'interruption des travaux de cartographie ;

- de vérifier la méthode en voie d'élaboration pour la cartographie à l'échelle de la Suisse et de mettre en place les bases opérationnelles de façon à ce qu'elles soient disponibles au moment où la cartographie définitive commencera ;
- d'estimer plus précisément les coûts de la cartographie des sols à l'échelle de la Suisse ;
- de pérenniser les compétences existantes en matière de cartographie.

Une fois la phase préparatoire achevée, la cartographie des sols proprement dite commencera pour une durée d'environ deux décennies.

5 Synthèse et évaluation des variantes

Les coûts totaux estimés et le temps nécessaire pour la cartographie des sols constituent des critères fondamentaux et importants pour la comparaison des variantes. À cela s'ajoutent d'autres critères pertinents pour l'évaluation des variantes et l'appréciation de la faisabilité et des risques. Parmi ceux-ci figurent notamment les coûts de mise en œuvre à la charge des services spécialisés cantonaux et nationaux. Ainsi, dans les variantes 1 et 2, de nombreux travaux administratifs et techniques sont assurés de façon centralisée par le mandataire, alors que dans les variantes 3 et 4, ces travaux sont exécutés de manière décentralisée par les 26 cantons, ce qui entraîne des coûts supplémentaires (p. ex. procédures d'appel d'offres OMC pour les équipes de cartographie sur le terrain ; direction opérationnelle du projet). Plus la réalisation du projet est décentralisée, plus les coûts de la coordination entre la Confédération, les cantons, le mandataire et le CCSols augmentent.

La variante 1, du fait de la démarche uniformisée, de l'harmonisation des calendriers et de l'organisation cohérente, est celle qui présente le moins de risques. C'est également une variante optimale du point de vue pédologique, car elle permet d'assurer la meilleure qualité, la plus grande utilité ainsi que le bénéfice économique global le plus durable. L'avantage est qu'elle permettrait à la Confédération d'assurer la gestion de manière optimale, et que les tâches pourraient être lancées et exécutées rapidement moyennant un surcroît de travail administratif et de personnel relativement réduit. L'inconvénient est qu'il s'agit d'une solution très centralisée, qui entraînerait en outre des coûts très élevés pour la Confédération, bien que sa charge financière pour la collectivité publique soit la plus faible des quatre variantes. À l'opposé, la variante 4 correspond à la forme d'organisation actuelle, avec un cadre restreint, une cartographie des sols classique hétérogène, une durée plus longue et des coûts totaux plus élevés que pour les autres variantes.

Dans les variantes 2 et 3, la participation renforcée des cantons complique les processus organisationnels et augmente par conséquent les besoins en ressources financières et humaines ainsi que la durée. La procédure actuelle consistant à cartographier dans les limites des frontières cantonales au lieu de couvrir des zones pédogénétiques cohérentes, ne permet de réaliser que des économies d'échelle limitées. Ce problème concerne en particulier une série de cantons dont les frontières géographiques sont étroitement imbriquées. Outre les incertitudes de planification pour la mise en place des infrastructures, des synergies seront ainsi diminuées ou perdues.

Les avantages de la variante 2 par rapport à la variante 3 sont que la Confédération peut assurer elle-même la gestion du projet (exécution centralisée par un mandataire) et formuler des prescriptions méthodologiques, qu'elle permet de fixer les modalités de financement respectifs de la Confédération et des cantons dans une convention, et que les tâches peuvent être lancées et exécutées de manière efficace et plus aisément planifiable avec les cantons, en s'appuyant sur une utilisation optimale du mandataire et du CCSols. Ses coûts sont inférieurs à ceux de la variante de référence 1 pour la Confédération, et inférieurs à ceux de la variante de référence 4 pour les cantons. Les inconvénients de la variante 2 sont des coûts totaux plus élevés qu'avec la variante 1, ainsi qu'un processus organisationnel plus complexe, nécessitant davantage de personnel et comportant donc plus de risques.

La variante 3 aurait pour avantages que l'OFEV possède une longue expérience avec les CP (le système est bien établi) et que la Confédération se limiterait à prescrire les objectifs et les méthodes de cartographie, les cantons se chargeant eux-mêmes d'engager et de payer les bureaux de cartographie. Ses inconvénients sont que les CP fixeraient essentiellement la durée et l'étendue de

la cartographie ainsi que la contribution fédérale (les prescriptions méthodologiques de la Confédération seront quant à elles détaillées), que les cantons devraient mobiliser davantage de ressources humaines, et que la mise en œuvre dépendrait des spécificités cantonales, ce qui pourrait limiter les synergies lors des relevés. En raison du déroulement plus complexe, les petits cantons, en particulier, pourraient être surchargés sur le plan de l'administration et des ressources humaines. Il existe également un risque de concurrence entre les cantons à l'égard du personnel spécialisé chargé de réaliser la cartographie des sols. En outre, il serait plus difficile de planifier les capacités du laboratoire, ce qui pourrait conduire à des coûts additionnels.

Critères d'évaluation		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
++ = bien rempli, net avantage + = suffisamment rempli, avantage 0 = neutre - = rempli en partie seulement, inconvénient -- = non rempli, net inconvénient		Projet de la Confédération	Tâche commune avec répartition des coûts Confédération/cantons («joint venture»)	Tâche commune avec conventions-programmes	Tâche cantonale – La Confédération n'émet que des recommandations («tâche cantonale»)
Produit final carte des sols	1 Cartographie réalisée dans toute la Suisse	++	+	+	--
	2 Cartographie réalisée de façon uniforme	++	+	+	--
	3 Possibilité de prioriser certaines surfaces et zones géographiques	++	+	+	--
	4 Satisfaction des besoins / exigences méthodologiques et qualitatives des principaux utilisateurs et principales utilisatrices	++	+	+	--
Processus de la cartographie	5 Mise en œuvre peu coûteuse				
	5a opérationnelle: relevés / cartographie	++	+	0	--
	5b administrative: exécution / accompagnement	++	+	-	--
	5c coûts totaux	++	+	-	--
	5d besoin de financement Confédération	-	0	0	++
	5e besoin de financement cantons	++	0	0	--
	6 Mise en œuvre rapide (la carte des sols est disponible rapidement)	+	0	-	--
	7 Simplicité du déroulement du projet (aux niveaux technique et administratif)	++	0	-	-
8 Financement stable et suffisant	+	0	0	--	
Perspective politique	9 Existence de bases légales ou création / adaptation simple et rapide de bases légales	0	-	-	+
	10 Satisfaction des exigences liées à la gouvernance (principe de subsidiarité, équivalence fiscale, compte rendu, fédéralisme d'exécution) satisfaites	--	+	+	0

Figure 5 : Évaluation des variantes

Pour des raisons techniques ainsi que des considérations portant sur la gestion de la qualité et des risques, les coûts et le besoin de personnel, et en vue de l'effort administratif prévu pour la mise en œuvre et la coordination, le relevé de données pédologiques à l'échelle de la Suisse devrait être réalisé selon la variante 2 (« joint venture »).

Bibliographie

- Borer F. et Knecht M., 2014. Cartographie des sols suisses. Développement et perspectives. Société suisse de pédologie (SSP, accès par https://soil.ch/cms/fileadmin/Medien/Arbeitsgruppen/Bodenkartierung/Rapport_Cartographie_des_sols_2016_fr.pdf, état le 9.4.2021).
- Behrens T., Steinbrücken U., Schmidt K., Stumpf F., Keller A. 2021. Konzept für eine moderne landesweite Bodenkartierung. Modul 1: Fachliche und operative Fragen. Centre de compétences sur les sols (CCSols), Haute école spécialisée bernoise BFH-HAFL ; Firma Soilution GbR, Heusweiler, Allemagne.
- Behrens, T., Schmidt, K., MacMillan, R.A., Viscarra Rossel, R. 2018. Multi-scale Digital Soil Mapping with deep learning. Scientific Reports 8:15244.
- McBratney, A.B., Mendonca Santos, M.L., Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. Geoderma 117, 3–52. Accès par https://www.researchgate.net/publication/224840001_On_Digital_Soil_Mapping.
- Carrizoni M., Cavelti G., Hurst T., Zürrer M. 2017. Konzept für ein flächendeckendes Bodeninformationssystem. BABU GmbH, BHP Brugger und Partner AG, myx. Accès par <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/sol/publications-etudes/etudes.html> (état le 9.4.2021).
- Ecoplan. 2020. Konzept schweizweite Bodenkartierung - Modul 2: Organisatorische und finanzielle Fragen. Office fédéral de l'environnement, Berne. 21.12.2020.
- EU Soil Atlas of Europe, European Soil Bureau Network/European Commission, 2005. Accès par <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-atlas-europe> (état le 9.4.2021).
- Gmünder M., 2016, Arbeitspapier 2. Task Force Sitzung KOBO, Institut für Wirtschaftsstudien Basel.
- Interface. 2021. Kantonale Erfahrungen mit Bodenkartierungen. Eine Erhebung im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU). Schlussbericht 9.9.21.
- Keller A., Franzen J., Knüsel P., Papritz A., Zürrer M. 2018. Plateforme d'information des sols suisse (pis-ch), Synthèse thématique 4 du Programme national de recherche « Utilisation durable de la ressource sol » (PNR 68). Accès par http://www.nfp68.ch/SiteCollectionDocuments/NFP68_TS4_Bodeninformationsplattform_FR.pdf (état le 9.4.2021).
- Ma Y., Minasny B., Malone B.P., McBratney A.B. 2019. Pedology and digital soil mapping (DSM) – Russell Review. European Journal of Soil Science, March 2019 (70) 216-235.
- Nussbaum M., Burgos S., Keller A., Carrizoni M., Papritz A. 2018. Bodeninformationssysteme und (digitale) Bodenkartierung in Europa – Was kann die Schweiz davon lernen? Bericht Fokusstudie Nationales Forschungsprogramm Boden (NFP68). Accès par http://www.nfp68.ch/SiteCollectionDocuments/Fachbericht_Bodeninformationssysteme.pdf (état le 9.4.2021).
- Rehbein K., Sprecher Ch., Keller A. 2019. Übersicht Stand Bodenkartierung in der–Schweiz - Ergänzung des Bodenkartierungskataloges Schweiz um Bodeninformationen aus Meliorationsprojekten. Bericht der Servicestelle NABODAT. Accès par <https://www.are.admin.ch/are/fr/home/developpement-et-amenagement-du-territoire/strategie-et-planification/conceptions-et-plans-sectoriels/plans-sectoriels-de-la-confederation/sda.html> (état le 9.4.2021).

Annexes

Annexe 1 : Vue d'ensemble des cartographies des sols de la Suisse

Sur mandat de l'ARE et de l'OFAG, le centre de services NABODAT a établi en 2019 une vue d'ensemble des cartographies des sols existant en Suisse (Rehbein et al. 2019). Les chiffres réunis dans la publication originale figurant dans le tableau 3 ont été actualisés (état : fin 2021). Les cartes pédologiques en Suisse ont été élaborées sur une longue période – de 1953 à nos jours – et présentent par conséquent d'importantes différences qualitatives au niveau des données pédologiques relevées. La question se pose de savoir dans quelle mesure les données pédologiques de cartographies réalisées avant 1980, donc avant l'introduction de la clé de données 1 (DS 1, introduite en 1982), satisfont encore aux exigences actuelles.

À la suite de la suppression du service de cartographie des sols à l'ex-FAP/FAL, cette tâche a été transférée aux cantons en 1996. Comme le montre le tableau ci-dessous, la cartographie des sols n'a pu être poursuivie que dans un cadre modeste, en raison principalement des ressources financières limitées des cantons et de l'absence d'un mandat légal explicite (Interface 2021). Ainsi, pendant cette période, seuls huit cantons ont pu réaliser plus d'un projet de cartographie. Entre 1996 et 2017, un peu moins de 50 000 ha au total ont été cartographiés à l'échelle 1:5000, soit une surface d'environ 2400 ha par an. Cette prestation cartographique annuelle modeste ne couvre que 0,25 % de la surface agricole. Cela n'est pas surprenant vu le manque de mandat légal explicite et le peu de moyens financiers.

Le catalogue des cartographies des sols, accessible sous l'URL

<https://www.nabodat.ch/index.php/fr/services/catalogue-des-cartographies>, présente visuellement les polygones des contours des cartes des sols existantes, renferme d'importantes méta-informations sur les cartes concernées et propose des liens vers les portails SIG cantonaux.

Il est possible que les informations dont dispose la Confédération soient incomplètes – le centre de services NABODAT et la section Sols de l'OFEV recueille volontiers les observations à ce sujet.

Le tableau ci-après présente les cartographies des sols aux échelles de 1:5000 à 1:10 000 effectuées avec la clé de données 5 ou une clé plus récente (c'est-à-dire depuis environ 1990) qui sont connues du centre de services NABODAT. Nous partons de l'hypothèse que les cartes réunies ici peuvent être utiles pour la cartographie des sols à l'échelle de la Suisse (prestation préalable). Certains cantons possèdent des cartes pédologiques qui ne figurent pas dans ce tableau, car l'échelle de celles-ci est trop petite ou la date de leur établissement trop éloignée dans le temps.

La part (en %) de surface cantonale ne permet pas de faire des comparaisons entre les cantons, puisque, par exemple, les cantons des Grisons, du Valais ou du Tessin ont des surfaces totales élevées, mais une surface de sols où des plantes peuvent pousser comparativement petite. D'autres cantons ont de grandes surfaces d'eaux libres ou d'habitat et d'infrastructure. La situation de chaque canton doit être vérifiée et prise en compte individuellement. Au total, moins de 8,5 % de la surface de la Suisse sont cartographiés à une échelle suffisamment précise et avec des clés de données actuelles.

Tableau 3 : Résumé de la cartographie des sols en Suisse

Canton	Cartes pédologiques (depuis env. 1990)		Somme ha	Part de la surface %	Surface du canton ha
	en ha ; 1:5000	en ha ; 1:10 000			
AG	3836		3836	2,73 %	140 380
AI	424		424	2,46 %	17 248
AR			0	0,00 %	24 288
BE	3918	881	4799	0,81 %	595 951
BL	21 412		21 412	41,36 %	51 767
BS	380		380	10,28 %	3695
FR	4775		4775	2,86 %	167 142
GL	1076		1076	1,57 %	68 531
GR	2295	3532	5827	0,82 %	710 530
JU	9095		9095	10,85 %	83 851
LU	19 076	6954	26 030	17,43 %	149 352
NE			0	0,00 %	80 216
NW	160		160	0,58 %	27 585
OW			0	0,00 %	49 058
SG	50 688		50 688	24,99 %	202 820
SH	770		770	2,58 %	29 842
SO	22 457		22 457	28,41 %	79 046
SZ	1099		1099	1,21 %	90 788
TG	380		380	0,38 %	99 433
TI			0	0,00 %	281 215
UR			0	0,00 %	107 653
VD	43 975	53 531	97 506	30,36 %	321 202
VS	221	6769	6990	1,34 %	522 463
ZG	10 974		10 974	45,97 %	23 873
ZH	76 122		76 122	44,03 %	172 894
Sommes	273 133	71 667	344 800	8,41 %	4 100 823

Annexe 2 : Utilisation des informations sur les sols

Intérêts d'utilisation	Besoin d'informations, questions sélectionnées en rapport avec les informations du sol
Société	Sécurité d'approvisionnement
Agriculture	Mise en œuvre des Objectifs environnementaux pour l'agriculture (OEA), exploitation durable des sols, fertilisation, travail du sol, choix des cultures, apport d'intrants adaptés au site, système de paiement direct et Prestations écologiques requises (PER), mise en œuvre des Données de base pour la fumure (DBF), programmes pour l'utilisation efficiente des ressources naturelles, optimisation des moyens de production
Aménagement du territoire	Préservation des terres arables fertiles, bases de planification uniformes pour le PS SDA, prise en considération de la qualité du sol dans le développement territorial, conceptions d'évolution du paysage (CEP)
Exécution de la protection du sol	Protection du sol au sens de l'OSol ¹⁹ : prévention des atteintes portées aux sols, surveillance des sols, réseau de mesure de l'humidité du sol, compensation de SDA, protection du sol lors de la construction, dépôts et remblais, réhabilitations, améliorations foncières, sols anthropiques
Protection de la nature et biodiversité	Délimitation de surfaces dédiées à la protection de la nature et de zones tampons, préservation d'une flore et d'une faune diversifiées
Protection des eaux/ Approvisionnement en eau potable	Protection des eaux souterraines : délimitation de surfaces et de bassins versants dotés de sols qui filtrent et dégradent suffisamment les fertilisants et les polluants
Protection du climat/ Inventaire des gaz à effet de serre	Le sol en tant que puits et source de carbone et de gaz à effet climatique, devoir d'information conformément au Protocole de Kyoto, mesures dans le domaine de la foresterie et de l'utilisation des terres (LULUCF: Land Use, Land-Use Change and Forestry)
Risques naturels/ Protections contre les crues	Délimitation de zones à risques vis-à-vis des crues, glissements de terrain, laves torrentielles, etc., infiltration d'eau dans les sols, préservation des couloirs naturels, prévention des glissements de terrain
Foresterie	Choix des essences, planification des stocks, mesures sylvicoles, protection contre les atteintes des sols dues au compactage ou à l'acidification
Améliorations foncières et drainages	Optimisation des fonctions de production du sol, amélioration du régime hydrique et de la structure des sols, restauration et entretien des systèmes de drainage, techniques de culture, remaniements parcellaires et estimation des terres
Hydrologie	Régime hydrique : le sol dans le contexte des précipitations, neige et glaciers, évaporation, cours d'eau et lacs, régime hydrique des nappes phréatiques et modélisation des processus d'écoulement, réseaux de mesures hydrologiques
Génie hydraulique	Réhabilitation des cours d'eau, protection contre les inondations, bassins de rétention pour les fortes précipitations, barrages et changements climatiques, irrigation des cultures
Science et recherche/ Pédologie	Sol en tant qu'interface de l'écosystème, par exemple cycle de la matière dans l'environnement, modèles du système environnemental, de pronostics, d'utilisation des sols, connaissances pédologiques
Archéologie	Archives de l'histoire culturelle : préservation des sites, découvertes sur les événements historiques et les pièces archéologiques
Observation environnementale	Monitoring, élaboration de rapports environnementaux, collaboration internationale, données pédologiques, système d'information sur les sols, portail d'information, indicateurs de durabilité, information du public

Figure 6 : Intérêts d'utilisation et choix de questions relatives aux informations sur les sols (tiré de Keller et al., 2018).

Annexe 3 : Tableau des coûts

Coûts en millions de CHF			Variante 1 : Durée (années)		Variante 2 : Durée (années)		Variante 3 : Durée (années)	
Unité	Personnel	Affectation	Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2
			14	4	15	5	16	6
Cartographie	Personnel spécialisé surfaces	Secteur privé	35	4	37	6	40	7
	Personnel spécialisé profil	Secteur privé	22	3	23	4	25	5
	Technique surface	Secteur privé	74	3	80	4	85	5
	Technique profil	Secteur privé	16	2	17	3	18	3
	Technique AQ	CCSols	5	0	5	1	5	1
Laboratoire	Technique	Laboratoire	38	5	40	7	43	8
	Direction	Laboratoire	4	1	4	1	4	2
Modélisation	Spectroscopie	CCSols	3	1	4	1	4	1
	Régionalisation	CCSols	7	1	9	2	10	2
	Télé-détection	CCSols	3	0	4	1	4	1
	Fonctions de transfert	CCSols	3	1	4	1	4	2
	Échantillonnage / validation	CCSols	3	0	7	1	8	2
	Gestion des données	CCSols	3	1	4	1	4	2
	Complément analyses de données	CCSols/canton-centralisé	0	0	7	1	12	3
Coordination	Projet	CCSols	12	2	13	3	13	3
Gestion	Administration	CCSols	10	2	10	2	11	3
	Administration	Canton-centralisé			pas pris en compte ¹			
	Administration	Confédération			pas pris en compte ¹			
	Secrétariat	CCSols	5	1	8	1	8	2
Technique, logistique, informatique		CCSols						
	Projet		8	2	10	3	11	3
Matériel			Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2
	Cartographie		53	7	57	9	60	13
	Laboratoire		11	3	11	4	11	4
	Voitures		7	1	9	1	9	2
	Informatique		1	0,2	1	0,3	2	0,6
	Transport des échantillons		2	1	2	1	2	1
	Autres dépenses		4	1	4	1	4	2
Total			Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2
	Personnel		251	29	286	43	309	56
	Matériel		78	13	85	16	88	23
	Somme		329	42	371	59	397	79
Somme totale (arrondie)			371		430		476	

¹Les services administratifs de la Confédération et des cantons n'ont pas été pris en compte dans les coûts du projet.