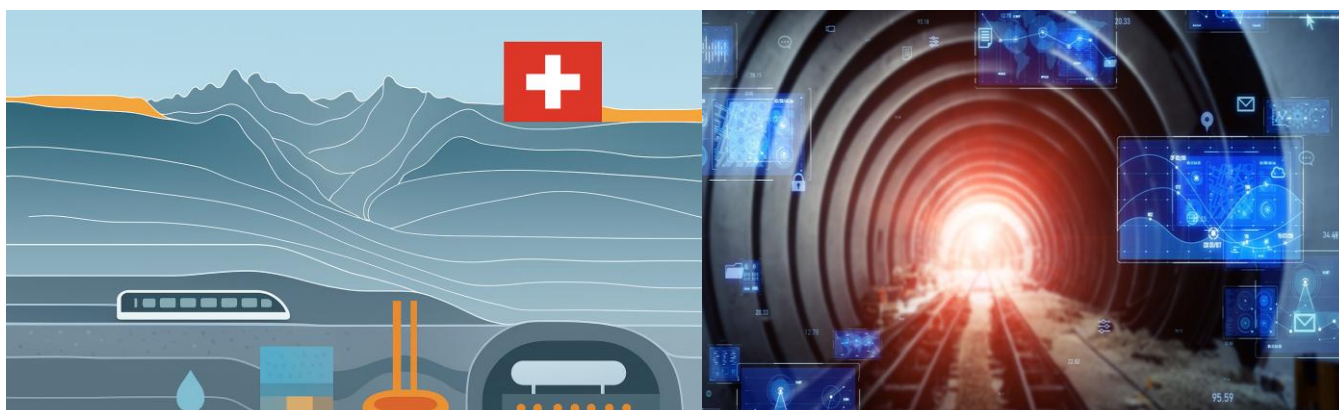


ÉLABORATION DE LA STRATÉGIE POUR LES DONNÉES GÉOSPATIALES DU SOUS SOL

RAPPORT FINAL – REGENSDORF, 17 AVRIL 2026

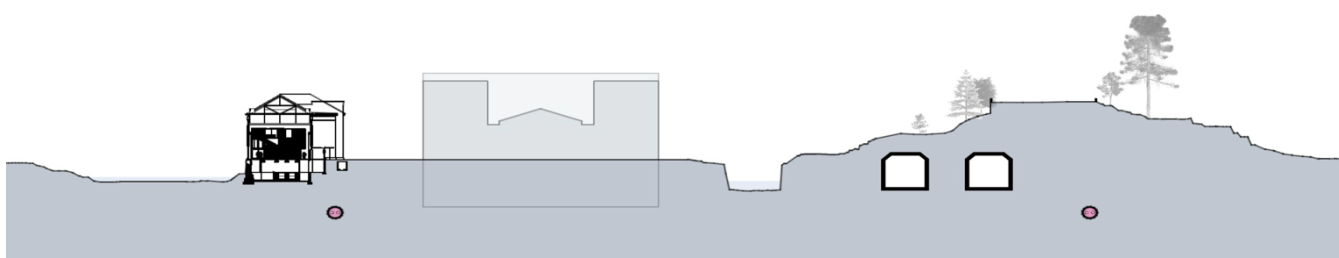


SIHL

SELNAUSTRASSE

SCHANZENGRABEN

ALTER BOTANISCHER GARTEN



Sommaire

Page

1. INTRODUCTION : CONTENU ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	4
2. AP1 : ANALYSE DE L'EXISTANT ET DES BESOINS	6
2.1. ÉTUDES ET STRATÉGIES EXISTANTES	6
2.2. PRATIQUES CANTONALES	8
2.3. CADRE JURIDIQUE	8
2.3.1. ÉTAT DES LIEUX	8
2.3.2. DÉFIS.....	11
2.3.3. RECOMMANDATIONS	13
2.3.4. RÈGLEMENT SUR LA CONSTRUCTION ET LE ZONAGE DU SOUS-SOL (CZSS)	14
3. AP2 : CONSULTATION DES PARTIES PRENANTES	15
3.1. SÉLECTION DES CANTONS.....	15
3.2. SERVICES SPÉCIALISÉS ET ENTREPRISES INTERROGÉS	16
3.3. ENTRETIENS AVEC LES PARTIES PRENANTES - ANALYSE DES RÉPONSES ISSUES DE L'ENQUÊTE	16
3.3.1. DONNÉES DISPONIBLES ET PRATIQUES INTERNES	17
3.3.2. BESOINS ET ATTENTES FUTURS	18
3.3.3. CADRE JURIDIQUE ET GOUVERNANCE	19
3.4. ORGANISATION, ANIMATION ET ÉVALUATION D'UN ATELIER INTERCANTONAL	19
3.4.1. SUR LE PLAN JURIDIQUE	20
3.4.2. TECHNIQUE	20
3.4.3. FINANCIÈRE	20
3.4.4. DONNÉES NON PUBLIQUES ET DONNÉES PUBLIQUES.....	20
3.4.5. CENTRÉ SUR L'UTILISATEUR.....	21
3.4.6. COORDINATION	21
3.4.7. QUALITÉ.....	21
3.4.8. OBJECTIFS COMMUNS (RETOUR D'INFORMATION GÉNÉRAL)	21
4. AP3 : CATÉGORISATION DES GÉODONNÉES DU SOUS-SOL	21
4.1. CATÉGORISATION GÉNÉRALE DES GÉODONNÉES DU SOUS-SOL	21
4.2. DÉFINITION DES HIÉRARCHIES, DES RELATIONS ET DES SCÉNARIOS D'UTILISATION	25
4.3. MODÈLES DE GÉODONNÉES MINIMAUX (MGDM)	27
5. COMPLÉMENT À L'AP3 : APERÇU DES MODÈLES MINIMAUX EXISTANTS	34
5.1. APERÇU DES DONNÉES UTILISÉES	34
5.1.1. DONNÉES PRIMAIRES TELLES QUE FORAGES ET RAPPORTS POUR LA GÉOLOGIE ET LA GÉOTECHNIQUE	38

5.1.2.	GÉOPHYSIQUE ET GÉOTECHNIQUE.....	39
5.1.3.	GÉOLOGIE	40
5.1.4.	PÉDOLOGIE.....	40
5.1.5.	HYDROGÉOLOGIE / EAUX SOUTERRAINES	41
5.1.6.	APPLICATION À LA GÉOTHERMIE	42
5.1.7.	AUTRES APPLICATIONS DES GÉODONNÉES DU SOUS-SOL	42
5.2.	GÉODONNÉES RELATIVES AUX INFRASTRUCTURES ANTHROPIQUES DU SOUS-SOL.....	42
5.3.	ANALYSE	43
5.4.	RÉSUMÉ.....	45

6. AP4 – VISION, DÉFINITION DES PRINCIPES STRATÉGIQUES, DES OBJECTIFS ET DES MÉCANISMES DE MISE EN ŒUVRE 45

6.1.	VISION 2035 : LE SOUS-SOL TRANSPARENT, UN BIEN COMMUN	45
6.2.	DÉFINITION DE PRINCIPES DIRECTEURS POUR LA GESTION ET L'UTILISATION DES GÉODONNÉES DU SOUS-SOL : ..	47
6.3.	STRATÉGIE ET MISE EN ŒUVRE PROGRESSIVE	48
6.4.	PLAN DE MISE EN ŒUVRE EN 4 PHASES.....	48
6.5.	FACTEURS CRITIQUES DE SUCCÈS ET RISQUES.....	51
6.6.	NORMES, STANDARDS TECHNIQUES ET PROTOCOLES PERTINENTS.....	56
6.6.1.	NORMES INTERNATIONALES SIG (SÉRIE ISO 19100)	56
6.6.2.	NORMES ET STANDARDS SUISSES RELATIFS AU SIG	57
6.6.3.	SYNTHÈSE SYSTÉMATIQUE DES NORMES ET STANDARDS	58
6.7.	PROTOCOLES SIG PERTINENTS	58
6.8.	PRISE EN COMPTE DES CADRES RÉGLEMENTAIRES NATIONAUX ET INTERNATIONAUX EXISTANTS	61

7. ANNEXE 62

7.1.	RÉUNION DE LANCEMENT DU 14 OCTOBRE 2025.....	62
7.2.	RÉUNION AVEC LA CGC ET LE GROUPE D'ACCOMPAGNEMENT DU 21 NOVEMBRE 2025 (AP1)	62
7.3.	RECENSEMENT DES ÉTUDES EXISTANTES (AP1)	62
7.4.	RÉUNION AVEC LA CGC ET LE GROUPE D'ACCOMPAGNEMENT DU 13 JANVIER 2026 (AP2).....	62
7.5.	ATELIER INTERCANTONAL DU 23 JANVIER 2026 (AP2 ET AP3).....	62
7.6.	RÉUNION AVEC LA CGC ET LE GROUPE D'ACCOMPAGNEMENT (AP3).....	62
7.7.	MODÈLES DE DONNÉES : FIGURES 6 À 9.....	62
7.8.	ANNEXE RELATIVE AUX NORMES ET STANDARDS (AP4)	62
7.9.	SÉANCE DE CLÔTURE AVEC LA CGC ET LE GROUPE D'ACCOMPAGNEMENT	62

1. Introduction : contenu et objectifs de l'étude

La gestion du sous-sol constitue un enjeu stratégique majeur pour le développement territorial durable, la gestion des infrastructures et la protection des ressources naturelles. Le sous-sol abrite une multitude d'éléments revêtant une grande importance sociale et économique. Il s'agit d'une part d'infrastructures importantes telles que les conduites de gaz, d'électricité et d'eau ainsi que les systèmes de transport souterrains, et d'autre part de ressources naturelles telles que les matières premières minérales, les eaux souterraines et la géothermie. Parallèlement, certaines parties du sous-sol sont soumises à des réglementations juridiques et à des régimes de propriété spécifiques, dont il faut tenir compte lors de leur exploitation.

Outre l'utilisation du sous-sol, sa protection revêt également une importance capitale. La collecte et la gestion systématiques des géodonnées offrent de précieuses possibilités pour représenter spatialement de manière transparente, analyser de manière approfondie et surveiller durablement les influences sur le sous-sol – par exemple celles exercées par des substances chimiques, biologiques et anthropiques, telles que les microplastiques. Elles constituent ainsi une base importante pour une meilleure compréhension et une gestion responsable de nos ressources naturelles.

Dans ce contexte, une gestion coordonnée et efficace des géodonnées du sous-sol revêt une importance croissante. Les géodonnées permettent de saisir, d'analyser et de mettre en relation des informations spatiales sur les caractéristiques, l'utilisation et la situation juridique du sous-sol. Une stratégie globale pour les géodonnées du sous-sol est donc nécessaire afin de coordonner l'utilisation de ces ressources, de respecter les exigences légales et de faciliter la collaboration entre les nombreux acteurs concernés.

La présente étude vise à définir les exigences nécessaires à l'élaboration d'une telle stratégie. L'objectif est de permettre une utilisation efficace et cohérente des géodonnées du sous-sol, qui soutienne les processus décisionnels, les instruments de planification, les mesures de protection ainsi que les simulations en rapport avec le sous-sol. Il s'agit ainsi de créer une base permettant de saisir, de gérer et de rendre accessibles de manière systématique les multiples informations relatives au sous-sol.

Les résultats de cette étude constituent une première étape vers l'élaboration d'un modèle coordonné de gestion des géodonnées du sous-sol en Suisse. La stratégie proposée s'appuie sur les orientations nationales existantes et les initiatives politiques. Elle tient notamment compte des orientations stratégiques de la Stratégie suisse pour le sous-sol, en particulier dans le domaine de la disponibilité des informations, ainsi que de la mesure n° 22 du plan d'action de la Conférence des services cantonaux de la géoinformation et le cadastre. L'objectif de cette mesure est de développer un concept intégré pour un système d'information multithématique sur le sous-sol, qui combine modèles de données, gestion des données et aspects technologiques. En collaboration avec swisstopo et les instances spécialisées concernées, un plan de mise en œuvre coordonné est élaboré, qui constitue la base d'un système intercantonal et rassemble des thèmes centraux tels que le cadastre du sous-sol, le droit et la géologie.

L'étude se concentre sur l'élaboration d'une vision commune pour la gestion des géodonnées du sous-sol. Sur la base de cette vision, des principes fondamentaux pour la saisie, la gestion et l'utilisation de ces données doivent être définis. En outre, l'étude poursuit plusieurs objectifs concrets :

- **Identifier les catégories pertinentes de géodonnées du sous-sol afin de recenser systématiquement la diversité des informations disponibles.**
- **Proposer une organisation claire et structurée de ces données**, qui mette en évidence leurs relations et leurs possibilités d'utilisation dans le contexte des politiques publiques.
- **Élaborer des modèles de données servant de base commune aux cantons tout en garantissant l'interopérabilité entre les différents niveaux administratifs.**

Un autre axe prioritaire porte sur l'identification de normes et de protocoles techniques pour la collecte, le stockage, l'analyse et la diffusion des géodonnées du sous-sol. En complément, des recommandations concrètes ont été formulées pour la mise en œuvre progressive d'une stratégie intercantonale tenant compte des aspects techniques, organisationnels, juridiques et financiers.

En impliquant des acteurs de la Confédération, des cantons et des milieux spécialisés, l'étude tient compte de la complexité de la gouvernance de la Suisse. L'objectif est de permettre une utilisation coordonnée et tournée vers l'avenir des géodonnées du sous-sol et de contribuer ainsi à une exploitation durable et efficace de l'espace souterrain.

Afin de permettre une exploitation efficace des informations et des données existantes ainsi que la collecte et le développement de nouvelles bases de données, l'étude est divisée en cinq lots de travaux successifs. Cette structure constitue également la base de l'organisation des chapitres du présent rapport. Ces lots sont brièvement présentés ci-après :

AP1 – Analyse de l'existant et des besoins :

Dans ce premier lot, les études existantes sur le sous-sol qui sont en lien direct avec les objectifs de la présente étude ont été analysées. En outre, les pratiques cantonales ont été recensées, les catégories de données utilisées ont été identifiées et le cadre juridique pertinent ainsi que les utilisations prioritaires du sous-sol ont été examinés.

AP2 – Consultation des parties prenantes :

Dans le cadre du deuxième lot, des entretiens ciblés ont été menés avec des acteurs sélectionnés et un atelier technique intercantonal a été organisé. L'objectif était de valider les besoins identifiés, de recueillir les attentes et les exigences des acteurs concernés et de créer une base commune pour la suite du développement stratégique.

AP3 – Structuration des géodonnées :

Sur la base des connaissances acquises, un schéma global des catégories de géodonnées du sous-sol a été élaboré. À cette occasion, les relations et les interactions entre les différents types de données ont été analysées, une structure hiérarchique a été définie et des modèles de données minimaux ont été proposés, pouvant servir de base commune aux cantons.

AP4 – Définition des principes stratégiques :

Ce lot a permis de définir des principes directeurs, notamment en matière de gouvernance, de qualité des données et d'interopérabilité. De plus, les normes et protocoles techniques pertinents, nécessaires à une collecte, une gestion et une utilisation cohérentes des géodonnées du sous-sol, ont été identifiés.

AP5 – Rédaction et remise du rapport :

Enfin, le présent rapport final a été rédigé. Il comprend le schéma de catégorisation élaboré, des propositions de modèles de données, des recommandations concrètes pour la mise en œuvre de la stratégie ainsi qu'une présentation synthétique des principaux résultats destinés à faciliter la prise de décision.

2. AP1 : Analyse de l'existant et des besoins

2.1. Études et stratégies existantes

Au début de l'étude, la CGC et le groupe d'accompagnement (SoundingBoard) ont mis à la disposition de l'équipe de recherche cinq études existantes qui constituent une base de référence essentielle pour les travaux dans le domaine de la structuration des géodonnées et pour l'élaboration d'une stratégie globale.

L'équipe chargée de l'étude a compilé les principaux résultats en vue d'une stratégie globale et les a traités de manière ciblée pour les différentes études. Un bref résumé présentant les principaux résultats est présenté dans la figure 1.

Étude / Année	Thème	Principales conclusions	Cadre juridique	Recommandations / Pertinence	Remarque
ZHAW (2024)	Utilisation et réglementation du sous-sol	Absence de définitions ; nécessité de lois cantonales	Prédominance du droit non contraignant ; faible compétence fédérale	Lois cantonales sur le sous-sol nécessaires	Pratiques hétérogènes entre les cantons, seule la ZHAW a adopté une vision globale
Argovie/EBP (2022)	Numérisation des profils de forage (BIM)	Intégration judicieuse dans le système Swisstopo	Réglementation claire en matière de protection des données	Vérifier la transférabilité	Le canton d'Argovie fait figure de pionnier, mais cela ne concerne que les profils de forage
Swisstopo LKCH (2019)	Cadastre des conduites de Suisse	Données principalement en 2D, intégration 3D manquante	Droit de propriété foncière accepté	Mise en œuvre recommandée conformément au concept	Mise en œuvre difficile (consultation)
CEATE-E (2024)	Stockage du CO ₂ et compétence fédérale	L'art. 74 Cst. offre une base réglementaire	La Confédération peut édicter des réglementations sur le CO ₂	Élimination du CO ₂ = intérêt public	Débat : déchet ou ressource
GSS+ (2023)	Collecte, gestion et utilisation de géodonnées du sous-sol	Besoin d'une plus grande exhaustivité des données et de plateformes/outils plus conviviaux.	Diverses lois fédérales et cantonales influencent les conditions juridiques applicables aux géodonnées.	Renforcement de la gouvernance, mise en place d'une plateforme de coordination numérique,	prise en compte précoce du sous-sol dans les projets de développement urbain.

Figure 1 : aperçu des études analysées

Les études disponibles couvrent l'ensemble du spectre du sujet et adoptent une approche holistique – allant d'une vision d'ensemble à des questions techniques détaillées. Elles révèlent des pratiques hétérogènes en matière de données : les cantons présentent des niveaux de développement variables, et seuls quelques-uns disposent déjà de réglementations clairement définies.

Il existe en outre des lacunes juridiques. Alors que l'utilisation du sous-sol est principalement réglementée au niveau cantonal, la Confédération se limite largement à des instruments non contraignants, laissant ainsi la mise en œuvre concrète aux cantons. Dans le domaine des normes techniques également, le tableau est fragmenté : Swisstopo fournit certes des bases importantes avec des outils tels que LKCH, mais une mise en œuvre à l'échelle nationale ainsi qu'une harmonisation intercantonale font défaut.

Les études aboutissent donc à une recommandation claire : la qualité et la collecte des données devraient être harmonisées par des lois cantonales sur le sous-sol et intégrées techniquement à l'aide d'outils numériques. C'est la seule façon de créer une base de données cohérente et pérenne.

Au fil du temps, on observe dans les différentes études une intégration juridique et technique croissante. Cette évolution est illustrée dans la figure 2.

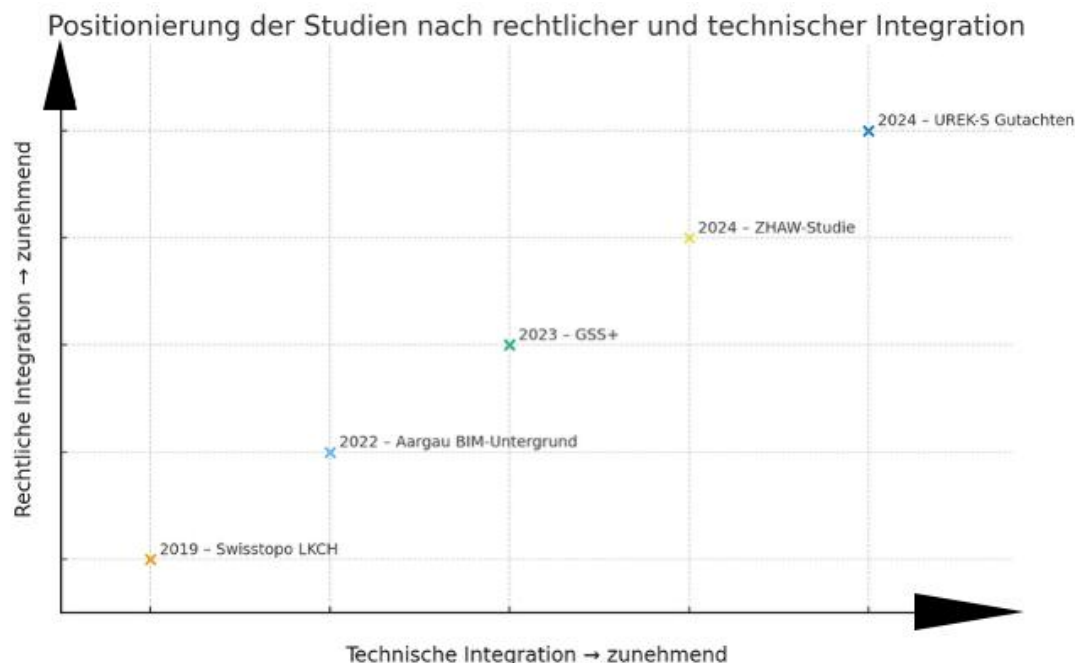


Figure 2 : positionnement des études selon leur degré d'intégration juridique et technique

2.2. Pratiques cantonales

Les différentes pratiques cantonales ont été examinées en détail dans le cadre de l'étude et présentées dans un tableau récapitulatif (figure 3). Elles ont été discutées et complétées en collaboration avec le mandant et lors de l'atelier intercantonal.

2.3. Cadre juridique

2.3.1. État des lieux

Les bases légales régissant la collecte et le traitement des géodonnées en Suisse sont principalement définies par la loi fédérale sur la géoinformation (LGéo) et l'ordonnance sur la géoinformation (OGéo) qui s'y rapporte. Ces textes réglementent l'infrastructure nationale de géodonnées, les compétences des autorités ainsi que les exigences minimales en matière de modèles de données, de métadonnées, de qualité et d'accessibilité des géodonnées officielles. En complément, l'ordonnance sur la géologie nationale (OGN) précise les modalités de collecte, de documentation et de mise à disposition des données géologiques au niveau fédéral, créant ainsi une base spécifique pour les informations géoscientifiques, notamment en ce qui concerne le sous-sol géologique.

Le droit en vigueur est toutefois principalement axé sur les géodonnées bidimensionnelles liées à la surface. Le sous-sol, en tant qu'espace tridimensionnel présentant des caractéristiques géologiques, hydrologiques et d'utilisation spécifiques, n'est traité ni dans la LGéo ni dans l'OGéo de manière explicite comme un espace de planification et de données autonome et réglementé

de manière exhaustive. Les informations pertinentes sur le sous-sol relèvent plutôt de différents domaines juridiques spécialisés, tels que le droit de la protection des eaux, le droit de l'environnement, le droit de l'énergie ou le droit des matières premières. Il n'existe donc pas de cadre juridique cohérent et intersectoriel pour les géodonnées du sous-sol.

La répartition des compétences est en outre marquée par droit cantonal des mines. La souveraineté sur de nombreuses ressources souterraines – telles que la géothermie, les matières premières minérales ou les stockages souterrains – appartient aux cantons. Ceux-ci statuent sur les concessions et les autorisations et déterminent ainsi indirectement la création, la forme et la disponibilité des géodonnées correspondantes.

Au niveau cantonal, on constate déjà de fortes divergences au niveau législatif formel. Alors qu'une partie des cantons a promulgué des lois cantonales autonomes sur la géoinformation (qui réglementent de manière relativement exhaustive les compétences, les autorités responsables des données ainsi que les principes relatifs aux métadonnées, à la qualité et à l'accès, d'autres cantons ne disposent d'aucune base légale comparable. Dans ces cantons, la réglementation des géodonnées repose sur des dispositions dispersées dans des ordonnances, sur des actes législatifs relatifs à l'organisation ou sur des lois sectorielles telles que les lois sur les eaux, l'environnement ou le droit minier. Le niveau de détail de la réglementation varie en conséquence : certains cantons imposent des obligations explicites de remise des données de forage et d'exploration, définissent des modèles de données et disposent de services de géodonnées institutionnalisés, tandis qu'ailleurs, ni les compétences ni les normes contraignantes ne sont clairement établies. Le statut juridique des données cantonales sur le sous-sol – notamment en matière d'accès public, de redevances ou de réutilisation – est également traité de manière hétérogène. Ces différences font que la collecte et la gestion des informations sur le sous-sol dépendent fortement des traditions cantonales, des priorités politiques et des ressources en personnel. Il n'en résulte pas un système cohérent à l'échelle nationale ; au contraire, des solutions cantonales individuelles coexistent, avec des degrés de contrainte et de professionnalisme variables, ce qui complique considérablement l'interopérabilité et la mise en œuvre d'une stratégie nationale coordonnée en matière de sous-sol.

Il en résulte 26 approches réglementaires différentes en matière de collecte, de transmission et de droits d'accès aux données. La Confédération dispose certes de compétences de coordination dans le domaine de la géoinformation, mais elle ne peut imposer de prescriptions uniformes pour les données du sous-sol sans base légale spécifique. Les différents acteurs bénéficient d'une liberté de méthode, pour autant que les doublons soient évités et que la comparabilité des résultats soit garantie. (cf. art. 8 LGéo, al. 2 ss). Les stratégies de la Confédération et des cantons, à savoir la Stratégie « Sous-sol Suisse » et le plan d'action de la CGC, ont un caractère essentiellement programmatique et ne sont pas directement contraignantes sur le plan juridique.

La figure 3 présente un aperçu des pratiques cantonales.

KANTON	AG	AR	AI	BE	BL	BS	FR	GE	GL	GR	JU	LU	NE	NW	OW	SH	SO	SZ	SG	TG	TI	UR	VD	VS	ZG	ZH	
GESETZE																											
Kantonales Geoinformationsgesetz (KGeoIG)	X	X	X*5	X		X	X		X*4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	
Gesetz über die amtliche Vermessung (AVG)							X						X								X			X			
Amtliche Vermessung: Unterteilung des Kantonsgebietes in Nachführungskreise																	X										
Gesetz über das Rauminformationssystem in Genf (GRIS)								X																			
Gesetz ü. Nutzung d. tiefen Untergrunds und Gewinnung von Bodenschätzen (GNB)	X																						X				
DEKRETE																											
Dekret über die Kostentragung der amtlichen Vermessung					X																						
Dekret über die amtliche Vermessung																X											
Dekret über die Gebühren im Geoinformationsbereich	X																										
VERTRÄGE																											
zwischen Bund/Kantonen betreffend Abgeltung/Modalitäten des Austauschs von Geobasisdaten unter Behörden					X						X																
VERORDNUNGEN																											
Kantonale Geoinformationsverordnung (KGeoIV)	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Kantonale Verordnung über amtliche Vermessung (KVAV)		X		X	X	X	X		X	X			X		X	X	X	X	X	X	X			X		X	
Kan. Verord. über den Kataster der öff.-rechtl. Eigentumsbeschränkungen (KÖREBKV)				X*1	X	X		X*7										X			X					X	
Leitungskatatsverordnung (LKV)				X	X					X															X	X	
Gebührenverordnung für Geodaten (GebV GeoD)		X			X				X	X*6			X		X*3			X*2			X					X	
Verordnung über das Gebäude- und Wohnungsregister und die Datenlogistik											X															X	
Verordnung über die Nomenklaturkommission (NKV)				X																							
Verordnung über die Schreibweise der Ortsnamen												X															
Verordnung über geografische Namen und Gebäudeadressen (GeoNAV)					X																						
Verordnung über Gebühren für Nachführungsarbeiten in amtlichen Vermessung					X																						
Tarife Nachführungsarbeiten und Daten- / Planabgabe des Amtes für Geoinf.																X											
Standeskommissionsbeschluss über die Gebühren für Geodaten und Geodienste			X																								
Verordnung über die Entschädigung der Nachführungsgeometer	X																										
Gebühr für die tägliche Aufbewahrung der amtlichen Vermessung											X										X						
Verordn. über Erstellung beglaubigter Urkunden durch amtlichen Vermessungsing.								X																			
Verordn. über Gebührenordnung für Grundbuch und amtl. Vermessung (GebV-AVV)								X																			
REGLEMENTE																											
Reglement über Geoinformation																						X					
Reglement über Gebühren für laufende Nachführung der amtlichen Vermessung																						X					
Reglement über das Meldewesen der amtlichen Vermessung														X													
Gebührentarif für die Nutzung des Geoinformationssystems (GIS-Gebührentarif)							X							X													
Gebührentarif für die Nachführung der Vermessungswerke																	X										
Reglement über Bezeichnung des technischen Trägers des Rauminformationssystems Genf								X																			
AUSFÜHRUNGSBESTIMMUNGEN																											
Ausführungsbestimmungen zum Geoinformationsgesetz															X												
Ausführungsbest. über Festl. von Gebieten mit dauernden Bodenverschiebungen															X												
WEISUNGEN																											
Weisung des Regierungsrates betreffend Beschaffung und Abgabe von Geodaten sowie Nutzung des geografischen Informationssystems (Geoinformationsweisung)																				X							
*1) Einführungsverordnung zur eidgenössischen Verordnung über den Kataster der öffentlich-rechtlichen Eigentumsbeschränkungen (EV ÖREBKV) *2) Verordnung über die Gebühren und Nutzungsmodalitäten im Bereich der Geoinformation (GebGeoi) *3) Vollziehungsverordnung über die amtliche Vermessung *4) Einführungsgesetz zum Geoinformationsgesetz (EG GeoIG) *5) Geodatengesetz (GeoDG) *6) Gebührenverordnung (GKGeoIG) *7) Verordnung über die amtliche Vermessung und den Kataster der öffentlich-rechtlichen Eigentumsbeschränkungen, des Untergrunds und 3D (Erfassung Untergrund und 3D!)																											

Figure 3 : Aperçu des pratiques cantonales en matière d'adoption de lois et d'ordonnances

2.3.2. Défis

Cette situation soulève plusieurs défis. Premièrement, il manque une définition juridique claire de ce qu'il faut entendre par « géodonnées du sous-sol ». Pour cela, il faudrait, dans un premier temps, définir l'interface entre la surface et le sous-sol et déterminer comment gérer le déplacement des limites en cas de modifications, par exemple dues à des excavations ou à des remblais (carrières de gravier / décharges) (dimension temporelle des données). Il n'est pas non plus clair si, outre les modèles géologiques, les données de forage, les informations sur les conduites ou les zones d'affectation doivent également être enregistrées. Deuxièmement, il n'existe pas de modèles de géodonnées minimaux contraignants pour les géodonnées tridimensionnelles du sous-sol. Les normes actuelles de l'OGéo sont axées sur les objets en 2D et ne tiennent compte ni des incertitudes spatiales ni de la dynamique temporelle des processus géologiques. Troisièmement, les compétences et les responsabilités en matière de données ne sont pas réglementées de manière uniforme. Les données sont réparties entre les services cantonaux spécialisés, les communes, les offices fédéraux et les entreprises privées. Il manque des règles claires concernant l'obligation de déclaration et de remise, la mise à jour ainsi que l'assurance qualité.

D'autres défis concernent l'équilibre entre transparence et protection des intérêts. Les géodonnées du sous-sol peuvent avoir une incidence sur la sécurité, contenir des secrets d'affaires ou permettre d'identifier les propriétaires fonciers. En l'absence de bases légales spécifiques, il existe une incertitude quant à la mesure dans laquelle ces données peuvent être publiées en tant que données ouvertes de l'administration. À cela s'ajoutent des questions de responsabilité liées à l'utilisation de modèles 3D, dont la fiabilité est toujours entachée d'incertitudes. Il en résulte globalement un système fragmenté qui complique considérablement l'aménagement coordonné du sous-sol.

Un autre facteur de tension structurelle résulte du traitement asymétrique de la propriété foncière dans le sens vertical. Selon l'art. 667 CC, la propriété d'un immeuble s'étend en principe en hauteur et en profondeur, dans la mesure où son exercice présente un intérêt digne de protection. Pour l'espace en surface, ce droit de jouissance privé est toutefois largement concrétisé et limité par le droit public de la construction et l'aménagement du territoire : les zones à bâtir, les hauteurs de construction, les règles de distance et d'affectation définissent de manière relativement précise dans quelle mesure l'espace aérien au-dessus d'une parcelle peut être utilisé à des fins privées. Pour le sous-sol, il manque largement une réglementation verticale comparable et généralement reconnue. Hormis certaines restrictions spécifiques – notamment la protection des eaux souterraines ainsi que les utilisations soumises au droit cantonal des mines –, il n'existe pas de critères uniformes permettant de déterminer à partir de quelle profondeur les intérêts publics l'emportent sur le droit de propriété privé. Cette absence de systématique complique la qualification juridique de nombreuses activités souterraines et a des répercussions directes sur le traitement des géodonnées. Il est souvent difficile de déterminer si les données issues d'études de sol ou de forages doivent être qualifiées en premier lieu d'informations privées du propriétaire foncier, de résultat d'une procédure relevant du droit des concessions ou de partie intégrante d'une infrastructure publique.

En résumé, le cadre juridique actuel pose les défis suivants :

Absence de délimitation entre le sol et le sous-sol

La frontière entre la surface et le sous-sol n'est pas statique, mais évolue continuellement au fil du temps sous l'effet de processus naturels et d'interventions humaines, ce qui complique la classification claire et la normalisation des données .

Absence de définition des géodonnées du sous-sol

Il existe un flou quant aux données (forages, modèles géologiques, conduites, réservoirs, etc.) qui doivent être enregistrées.

Ancrage juridique insuffisant au niveau cantonal

Tous les cantons ne disposent pas d'une loi cantonale sur la géoinformation ; le niveau de réglementation et les normes sont très hétérogènes.

Compétences et gestionnaires de données fragmentés

Les données sont dispersées entre les cantons, les communes, les offices fédéraux et les entreprises privées, et les obligations de remise ne sont pas uniformes.

Insécurité juridique verticale

Selon le Code civil suisse, la propriété foncière s'étend sans limite en profondeur et les restrictions publiques ne s'appliquent que de manière ponctuelle (eaux souterraines, droit de régle minière).

Absence de normes pour les données 3D/4D

Il manque des normes minimales, des obligations en matière de métadonnées et la représentation des incertitudes, et les réglementations actuelles de l'OGéo s'orientent vers les données 2D.

Droits de publication et d'utilisation flous

La protection des données, les droits de propriété et les secrets d'affaires entraînent des incertitudes quant à la divulgation et à la disponibilité des données ouvertes.

Conflits juridiques en cas d'utilisation transversale

Les interfaces entre le droit minier, les concessions, les droits d'infrastructure et les droits privés se heurtent parfois, et les questions de responsabilité liées à l'utilisation des modèles ne sont pas clarifiées.

Manque de coordination entre la Confédération, les cantons et les communes

Il n'existe pas de modèle administratif uniforme, ce qui complique la transférabilité et l'interopérabilité des données.

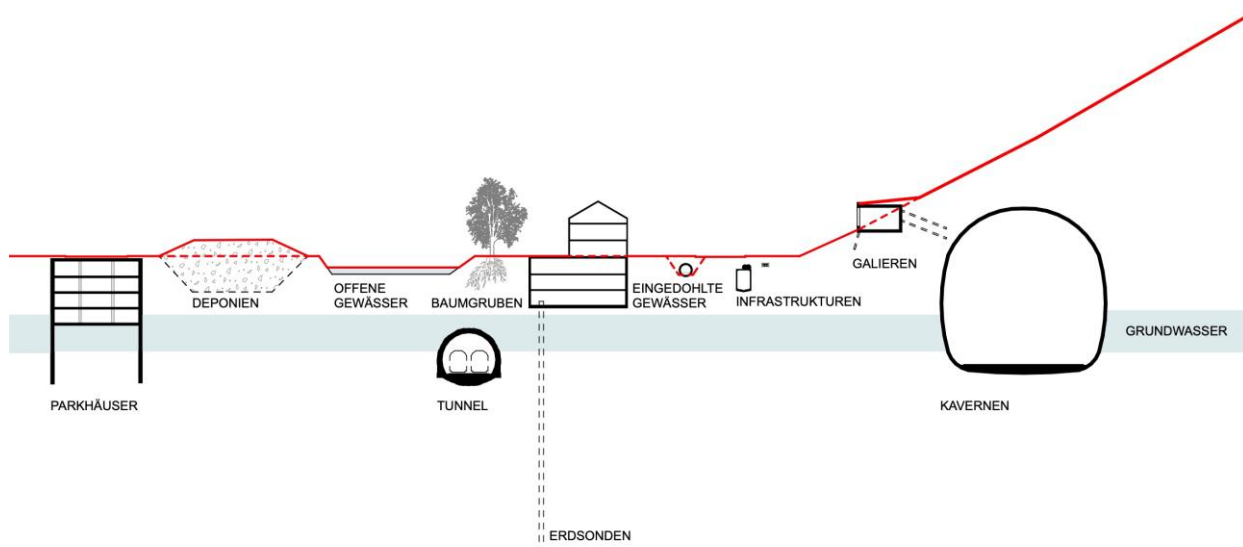


Figure 4 : Coupe schématique avec délimitation à définir entre le sol et le sous-sol

2.3.3. Recommandations

Plusieurs mesures sont nécessaires pour améliorer la situation. Au niveau législatif, la LGéo devrait être complétée par un domaine réglementaire explicite intitulé « Géodonnées du sous-sol ». Celui-ci devrait définir un catalogue contraignant des géodonnées de base relatives au sous-sol, les obligations de déclaration pour les forages, les obligations de mise à jour et d'étude, ainsi que les principes régissant la remise des données. Une autre solution consisterait à créer un cadre législatif spécifique, analogue au cadastre RDPPF, qui conférerait au sous-sol un ancrage institutionnel comparable. Au niveau de l'ordonnance, il convient d'élaborer des modèles de géodonnées minimaux pour les données 3D, des normes relatives à la gestion des incertitudes, des tolérances de construction et des prescriptions en matière de gestion des versions dans le temps.

Les différentes tentatives de swisstopo visant à intégrer les conditions-cadres susmentionnées dans la LGéo se sont heurtées à la résistance de divers groupes d'intérêt, ce qui a conduit au renvoi de l'affaire au Conseil fédéral.

Sur le plan organisationnel, un modèle de gouvernance clair est nécessaire. La Confédération devrait assurer la normalisation et l'agrégation au niveau national par l'intermédiaire de swisstopo, tandis que les cantons, en tant que principaux détenteurs de données, restent responsables de la saisie et de la mise à jour. Les concessions et les autorisations relevant du droit minier doivent être systématiquement associées à des obligations de remise de données. En complément, le principe « open by default » devrait s'appliquer de manière uniforme, tout en tenant compte des intérêts de protection par le biais de droits d'accès échelonnés. Grâce à des projets pilotes, aux normes eCH et à l'intégration dans l'INDG existante, un modèle coordonné de gestion à l'échelle nationale pour les géodonnées du sous-sol peut être mis en place progressivement.

Afin d'améliorer la compréhensibilité et la comparabilité des géodonnées du sous-sol, une harmonisation conceptuelle des termes sous-jacents est nécessaire. Il est recommandé de

développer une terminologie fondée sur des connaissances techniques, qui décrit le sous-sol comme un espace tridimensionnel et variable dans le temps et qui permette une délimitation claire, mais flexible, par rapport à la zone proche de la surface. Il convient notamment de tenir compte du fait que la frontière entre le sol et le sous-sol dépend de l'utilisation et du contexte et qu'elle évolue au fil du temps.

En complément, il convient de prévoir une structuration des géodonnées du sous-sol en domaines thématiques clairement définis, par exemple en données géologiques, hydrogéologiques, géotechniques et infrastructurelles. Cette systématisation thématique crée une base technique commune pour tous les acteurs concernés et facilite le classement, l'interprétation et la mise en relation des données. Une telle définition uniforme des concepts et des structures constitue la condition préalable à des modèles de données cohérents, améliore la compréhension entre les disciplines et contribue de manière significative à l'harmonisation des géodonnées du sous-sol.

2.3.4. Règlement sur la construction et le zonage du sous-sol (CZSS)

Pour surmonter les flous juridiques et organisationnels actuels, l'introduction d'un règlement des constructions et des zones du sous-sol (CZSS) s'impose. À l'instar de la planification d'affectation établie en surface, le sous-sol serait reconnu comme un espace de planification tridimensionnel à part entière et divisé en zones fonctionnelles. Alors que le droit de la construction prévoit des prescriptions détaillées en matière d'affectation, de densité et de hauteur pour l'espace aérien au-dessus d'une parcelle, il n'existe pas de système comparable en profondeur. Un tel règlement pourrait compenser cette asymétrie en définissant à partir de quelle profondeur les intérêts publics l'emportent sur la propriété foncière régie par le droit privé, et quelles utilisations sont autorisées dans les différentes zones de profondeur. En fonction de la profondeur, la maîtrise du sous-sol pourrait ainsi être attribuée au niveau concerné : privé, communal, cantonal ou fédéral.

Le cœur de ce règlement serait un zonage vertical du sous-sol. Une zone proche de la surface pourrait être réservée principalement à l'usage privé pour les fondations, les raccordements domestiques ou les mesures de terrassement à petite échelle. En dessous, une zone de coordination serait définie, dans laquelle les utilisations concurrentes telles que les réseaux de conduites, les sondes géothermiques ou la géothermie locale nécessiteraient une concertation en matière d'aménagement. Enfin, à des profondeurs plus importantes, il faudrait délimiter un espace public en profondeur destiné à des utilisations stratégiques telles que la géothermie profonde, les stockages souterrains ou les infrastructures de niveau supérieur, et relevant principalement de la souveraineté publique. Une telle structure permettrait pour la première fois de représenter systématiquement l'organisation verticale du sous-sol, qui fait aujourd'hui défaut.

Ce règlement permettrait également de créer des effets juridiques clairs pour les géodonnées. Pour chaque zone, il faudrait définir des obligations contraignantes en matière de collecte, de transmission et de mise à jour des géodonnées du sous-sol. Les données de forage et d'étude, les périmètres d'utilisation ainsi que les modèles 3D seraient enregistrés selon des modèles de géodonnées minimaux uniformes et intégrés dans l'infrastructure nationale de géodonnées. Le zonage offrirait en outre une base permettant de pondérer de manière différenciée les intérêts de transparence et de protection : alors que les données relatives à l'espace public en profondeur pourraient en principe être librement accessibles, des mécanismes de protection plus stricts seraient justifiés dans la zone proche des parcelles. Cela permettrait de mieux équilibrer les

tensions entre les droits de propriété, les intérêts de sécurité et le besoin d'une base d'informations complète.

Sur le plan institutionnel, ce règlement pourrait s'appuyer sur les instruments existants de l'aménagement du territoire. Il pourrait être intégré dans les plans directeurs cantonaux et les plans d'affectation communaux et, à terme, être relié au cadastre RDPPF. Il en résulterait un instrument de pilotage cohérent, réunissant le droit régalien sur les mines, l'aménagement du territoire et le droit de la géoinformation. Cela garantirait une plus grande sécurité juridique pour les investisseurs et les autorités, permettrait de coordonner à un stade précoce les utilisations concurrentes du sous-sol et éviterait les doublons dans la collecte des données. Dans l'ensemble, ce règlement offrirait un cadre approprié pour établir le sous-sol comme une dimension à part entière de l'aménagement du territoire tout en permettant la mise en place d'un modèle de gestion des géodonnées du sous-sol harmonisé à l'échelle nationale.

3. AP2 : Consultation des parties prenantes

Dans le cadre du lot de travaux 2, les parties prenantes concernées ont été systématiquement associées au projet. Cela a notamment donné lieu à des entretiens ciblés avec des représentants des cantons, des services spécialisés et d'autres organisations concernées.

Le choix des cantons a été délibérément large : alors qu'il était initialement prévu d'interroger six à huit cantons de tailles, de topographies et de niveaux de numérisation variés, ainsi que trois à cinq services spécialisés dans le domaine, ce sont finalement 16 cantons et 7 services spécialisés/entreprises qui ont été interrogés.

En complément, un atelier technique intercantonal a été organisé et animé afin de valider les besoins, de recueillir les attentes et de créer une base pour une convergence technique. Les retours issus des entretiens et des ateliers ont été soigneusement évalués, structurés et classés par catégorie. Les résultats sont expliqués et présentés de manière claire dans ce chapitre.

3.1. Sélection des cantons

La sélection des cantons a reposé sur un échantillonnage ciblé de différentes typologies et tailles. L'objectif était d'obtenir un reflet des caractéristiques variées de la Suisse, notamment en ce qui concerne :

- **Situation géographique : régions rurales, montagneuses et plates ainsi que zones urbaines ;**
- **Densité de population :** régions fortement peuplées par opposition à des régions moins densément peuplées ;
- **Niveau de numérisation : niveau élevé par opposition à un faible degré de numérisation ;**
- **Évolution juridique :** cantons dotés d'une législation avancée en matière de géodonnées du sous-sol par opposition à ceux dont la réglementation est moins développée.

De plus, lors de la sélection des cantons, on a veillé à refléter des situations de départ différentes en termes de capacité financière et de niveau de développement juridique. Cela permet de garantir que l'analyse tienne compte de manière appropriée de l'éventail des conditions préalables. Le tableau suivant répertorie les cantons qui ont participé à l'enquête :

Aperçu des cantons interrogés

Canton	Code	Contact pour l'enquête
Bâle-Ville	BS	Stefan Scheidler
Berne	BE	Yvonne Balzer-Kaufmann
Genève	GE	Stéphanie Favre
Grisons	GR	Christoph Nänni, Stéphane Kock
Jura	JU	Ivan Retti, Laurent Chaignat
Neuchâtel	NE	Giona Preisig
Nidwald	NW	Mario Karrer
Schaffhouse	SH	Jürg Sturzenegger
Schwyz	SZ	Zlatko Mrnjec
Soleure	SO	Markus Staehli
Saint-Gall	SG	Anna Lemaire, Paul Pfenninger
Thurgovie	TG	Dorothea Stumm
Uri	UR	Simon Walker
Vaud	VD	David Giorgis
Zoug	ZG	Volkert Luetzenkirchen
Zurich	ZH	Antonella Toth

3.2. Services spécialisés et entreprises interrogés

Service spécialisé/entreprise	Contact pour l'enquête
OFEV	Stefanie Wirth
CSD	Johannes Graf
Geotest	Michael Gatschet
CFF	Matthias Damo
SIA	Martin Riniker
SUPSI	Daniele Strigaro
Swisstopo	Michael Gysi

3.3. Entretiens avec les parties prenantes - Analyse des réponses issues de l'enquête

Afin d'obtenir une vue d'ensemble de la situation actuelle dans le domaine des géodonnées du sous-sol ainsi que des attentes et des souhaits concernant une future plateforme commune, des questionnaires ont été envoyés aux représentants de tous les cantons ainsi qu'à certains

services spécialisés et entreprises. Les cantons ont répondu à un questionnaire détaillé de 25 questions, tandis que les services spécialisés ont répondu à une version abrégée de 13 questions. Le rapport présente une analyse globale des résultats et les replace dans leur contexte. Les réponses exactes aux questions figurent en annexe (« Réponses au questionnaire (1-25) » ; « Réponses au questionnaire – version abrégée (1-13) »).

3.3.1. Données disponibles et pratiques internes

La première partie porte sur la situation actuelle dans les cantons.

Géodonnées du sous-sol collectées

La question relative aux géodonnées du sous-sol collectées montre que pratiquement tous les cantons enregistrent des profils de forage ou des données géologiques. De plus, diverses données sur les eaux souterraines sont également disponibles dans presque tous les cantons. Dans tous les autres domaines, les cantons présentent de grandes disparités, ce qui rend difficile l'établissement d'une base de données commune. Il est frappant de constater que certains cantons disposant d'un cadastre des conduites ne le mentionnent pas. Cela montre clairement à quel point il est important de définir clairement le sous-sol et les données qui s'y rapportent.

Formats de données

En ce qui concerne les formats de données également, les résultats sont très mitigés. Le format PDF est utilisé par tous les cantons, mais on peut se demander dans quelle mesure cela s'explique simplement par la présence de données historiques et si ce format est viable à long terme compte tenu de sa faible exploitabilité automatisée. Comme on pouvait s'y attendre, tous les cantons utilisent également des tableaux dans différents formats de données. Ces données devraient être faciles à harmoniser. Pour les autres formats de données, on observe des différences marquées entre les cantons. Pour la représentation des données SIG, environ la moitié utilise les formats de données d'Esri, tandis que l'autre moitié privilégie d'autres formats. Dans ce cas, il faudrait probablement recourir à des fichiers GeoPackage ou à d'autres formats d'échange.

Utilisation des données

En ce qui concerne l'utilisation des géodonnées du sous-sol, les cantons présentent des similitudes. De manière générale, l'accent est clairement mis sur l'utilisation actuelle. Les applications courantes sont les autorisations, la création de cartes, la planification de projets ou, de manière générale, l'amélioration des connaissances sur le sous-sol. À l'avenir, il serait possible de se projeter davantage dans le futur et de prendre davantage en compte les opportunités et les défis attendus.

Disponibilité numérique

En ce qui concerne la disponibilité numérique, 75 % des répondants ont indiqué que tous les enregistrements de leur base de données étaient disponibles sous forme numérique. Étant donné qu'une majorité (71 %) a également déclaré ne pas avoir l'intention de numériser à l'avenir les enregistrements restants qui ne sont pas encore numériques, on peut supposer qu'il s'agit principalement de données héritées.

Accessibilité publique

Comme on pouvait s'y attendre, la question relative à l'accessibilité publique des données a montré que tous les enregistrements ne sont pas accessibles au public et que cela n'est pas non plus un objectif à part entière. Cela est logique compte tenu de la portée de la question, car une partie des données est hautement sensible.

Traitement ultérieur des données

En ce qui concerne le traitement ultérieur des données dans le SIG, il apparaît clairement qu'il existe encore un potentiel à exploiter. Seuls 13 % des répondants ont indiqué que les données faisaient l'objet d'un traitement ultérieur.

Intégration dans le plan directeur

De même, les conclusions tirées des données collectées ne sont directement intégrées dans le plan directeur que dans une minorité de cantons.

Actualité des données

Un autre problème se pose quant à l'actualité des données. 88 % des répondants ont indiqué que leurs données n'étaient pas à jour, du moins en partie.

Ressources humaines disponibles

Une raison possible à cela réside dans la question des ressources humaines disponibles. La plupart des cantons ont signalé disposer de peu ou pas de ressources. Souvent, une seule personne est responsable. En revanche, les services spécialisés plus importants, comme Swiss-topo, disposent de plusieurs personnes réparties dans des équipes spécialisées. À l'avenir, une planification claire des ressources sera indispensable dans ce domaine.

3.3.2. Besoins et attentes futurs

La deuxième partie de l'enquête portait sur les souhaits et suggestions concernant une éventuelle harmonisation future entre les cantons.

Formats d'échange et plateforme souhaités

Les formats d'échange souhaités cités sont les fichiers Shape, les PDF ainsi que les formats de données tabulaires. En ce qui concerne les données de forage notamment, la plateforme boreholes.swissgeol.ch a souvent été mentionnée ; celle-ci constitue donc un bon exemple.

Suggestions, attentes et points à éviter pour la plateforme commune

De manière générale, la polyvalence et la facilité d'utilisation ont été mises en avant pour une plateforme commune. La facilité d'utilisation est particulièrement essentielle, car les petits cantons font souvent télécharger les données directement par des prestataires de services. La question de la propriété des données a été posée à plusieurs reprises ; celle-ci doit être clarifiée avec précision selon qu'il s'agit d'une plateforme cantonale commune ou d'une plateforme fédérale.

Accès public futur aux données

En ce qui concerne la question de l'accès public à une plateforme commune, le consensus est de rendre publiques toutes les données non sensibles.

Données à collecter à l'avenir

À la question de savoir quelles données devraient être collectées à l'avenir, les objets souterrains ont été cités à plusieurs reprises. D'autres possibilités seraient les données relatives au climat et à la santé (p. ex. température, pesticides, micro-organismes, etc.) ou les zones à bâtir souterraines.

3.3.3. Cadre juridique et gouvernance

Cadre juridique actuel et potentiel d'amélioration

Le cadre juridique actuel a été jugé par les répondants comme étant globalement lacunaire et susceptible d'être amélioré. Le souhait que toutes les données primaires sur le sous-sol collectées par des particuliers soient en principe considérées comme publiques a été exprimé très souvent. Cela simplifierait considérablement l'obtention de ces données auprès des particuliers.

Mise en œuvre par une loi ou une ordonnance

Les avis divergeaient quant à savoir si un cadre juridique supplémentaire devait être introduit sous forme de loi ou d'ordonnance. Une loi est considérée comme plus contraignante, tandis qu'une ordonnance est jugée plus pratique.

Situation juridique de la protection de l'environnement souterrain

À la question de savoir si la protection de l'environnement souterrain était suffisamment encadrée juridiquement, la plupart des réponses ont fait référence à la protection des eaux souterraines. D'une manière générale, la protection de l'environnement souterrain est considérée comme suffisante sur le fond, mais sa mise en œuvre est souvent jugée floue. À l'avenir, l'extrême diversité des thèmes environnementaux souterrains pourrait être davantage prise en compte. Outre les eaux souterraines, les zones racinaires des arbres ou les micro-organismes, par exemple, présentent un grand intérêt et font l'objet de réglementations bien moins claires.

3.4. Organisation, animation et évaluation d'un atelier intercantonal

Un atelier technique spécialisé s'est tenu le 23 janvier 2026. Y étaient invités tous les cantons et services spécialisés interrogés, ainsi que d'autres personnes proposées par la CGC et le groupe d'accompagnement. La liste des participants figure ici :

Participants à l'atelier	Service spécialisé / Canton / Entreprise
Filipa Machado	Secrétariat de la CGC
Laurent Niggeler	Comité de la CGC
Andreas Märki	Canton d'Argovie

Participants à l'atelier	Service spécialisé / Canton / Entreprise
Pascal Blunier	Canton de Vaud
Michael Gysi	Swisstopo
Stefanie Wirth	OFEV
Dorothea Stumm	Canton de Thurgovie
Nora Freitag	Canton de Lucerne
Brentini Maud	Canton de Genève
Yvonne Balzer-Kaufmann	Canton de Berne
Natascha Torres	Canton de Zurich
Giona Preisig	Canton de Neuchâtel
Johannes Graf	CSD Ingénieurs
Jürg Sturzenegger	Canton de Schaffhouse
Maud Brentini	Canton de Genève

Au cours de l'atelier, des commentaires ont pu être formulés sur une éventuelle plateforme commune. Les principaux résultats sont résumés dans le chapitre suivant.

3.4.1. Sur le plan juridique

Sur le plan juridique, les commentaires ont clairement porté sur la transmission de géodonnées du sous-sol par des particuliers. Il existe un dilemme dans la mesure où les données des particuliers ne peuvent être transmises qu'avec leur consentement, mais où ceux-ci refusent souvent de les communiquer. Les cantons ne disposent actuellement d'aucun moyen juridique pour obtenir ces données.

3.4.2. Technique

Sur le plan technique, une base de données intercantonale a été souhaitée. À cet égard, une architecture d'interfaces ouverte ainsi que la mise à disposition des données sous forme de service ont été jugées importantes. Une norme obligatoire à l'échelle nationale est également souhaitée. À cet égard, le site boreholes.swissgeol.ch a de nouveau été cité en exemple.

3.4.3. Financière

Sur le plan financier, tant les cantons que swisstopo ont indiqué ne pas pouvoir ou ne pas vouloir assumer seuls la charge. Un financement commun semble ici judicieux.

3.4.4. Données non publiques et données publiques

Dans le domaine du non-public, les retours ont été similaires à ceux du domaine juridique. Le problème actuel est que les acteurs privés ne souhaitent pas divulguer leurs données. De plus, la question de l'indemnisation financière doit être réglementée et harmonisée, en particulier en

ce qui concerne les données héritées. Les cantons et swisstopo souhaitent donc que toutes les géodonnées du sous-sol primaires soient en principe publiques et qu'aucune indemnisation ne soit versée.

3.4.5. Centré sur l'utilisateur

Les retours dans le domaine de l'orientation utilisateur mettent l'accent sur la convivialité. Il est jugé important de créer une plateforme par et pour les utilisateurs.

3.4.6. Coordination

En matière de coordination, une structure de données uniforme et une coordination nationale sont souhaitées. Cela est important pour clarifier les responsabilités et éviter que les données ne soient collectées dans des formats différents.

3.4.7. Qualité

Sur le plan qualitatif, les participants accordent une importance particulière à l'actualité des données. Dans le même temps, ils ont insisté sur la nécessité de privilégier pour l'instant la mise en œuvre plutôt que la qualité. D'une manière générale, il est essentiel de remplir systématiquement les modèles de géodonnées minimaux afin de garantir la qualité des entrées.

3.4.8. Objectifs communs (retour d'information général)

De manière générale, les participants ont fait remarquer que tous les domaines de la plateforme commune revêtent la même importance. Il est donc nécessaire de clarifier toutes les questions afin de parvenir à une plateforme commune performante.

4. AP3 : Catégorisation des géodonnées du sous-sol

4.1. Catégorisation générale des géodonnées du sous-sol

Les géodonnées du sous-sol regroupent les informations localisées sous la surface terrestre ; elles comprennent d'une part toutes les données naturelles, telles que la géologie, les eaux souterraines et les ressources minérales, mais aussi toutes les infrastructures souterraines d'origine anthropique, comme les tunnels ou les conduites. Ces données ne peuvent être représentées sur une plateforme SIG 2D qu'au prix d'une perte d'informations, car l'atimétrie et l'étendue spatiale des informations souterraines jouent un rôle essentiel. C'est pourquoi les plateformes capables de représenter la réalité en 3D sont adaptées aux géodonnées du sous-sol. Selon le cas d'application, une plateforme 2D peut toutefois suffire. Les plateformes 2D sont généralement plus faciles à utiliser que les plateformes 3D. C'est pourquoi une plateforme de géodonnées doit être considérée comme un complément et non comme un substitut aux plateformes SIG cantonales existantes. Pour que les données puissent être utilisées sur une plateforme SIG ou une plateforme 3D, elles doivent être géoréférencées. Dans le cas d'une plateforme 3D, la question

se pose de savoir comment représenter les incertitudes liées à l'interpolation et dans quelle mesure il convient de simplifier les données ; par exemple, pour un forage, il faut au minimum indiquer les points de départ et d'arrivée. Il est toutefois souhaitable de déterminer le tracé du forage et de l'intégrer à la plateforme, car le forage peut s'écarter fortement de l'axe projeté.

Catégorisation en fonction du degré de traitement

Les géodonnées du sous-sol comportent toujours une part d'incertitude et reposent sur des observations locales. Entre ces points d'observation, une interprétation par un spécialiste est nécessaire. Les informations permettant de limiter l'incertitude ainsi que le degré d'interprétation des données disponibles sont également précieuses. Dans le cadre de cette étude, un schéma relatif à ce degré de traitement est proposé (voir figure 5). Les données brutes sont des données dites primaires, qui sont obtenues directement par des essais (par exemple, des essais triaxiaux) ou des observations et sont donc objectives. Il existe également des données qui sont traitées davantage avant de pouvoir être utilisées par un tiers, appelées données primaires traitées. Par exemple, les résultats de mesures sismiques sont utilisés pour établir des profils. Ce faisant, les données sont souvent filtrées et traitées, ce qui fait que les profils obtenus peuvent présenter de légères différences même s'ils sont établis par des spécialistes différents. Les données primaires donnent généralement lieu, par l'interprétation et l'interpolation, à ce que l'on appelle des données et informations secondaires. Selon l'évaluation, les prévisions et les interpolations entre plusieurs points de mesure peuvent varier considérablement. Même si la distinction entre données traitées et données interprétées n'est pas toujours claire, c'est cette distinction qui est retenue ici. Pour une plateforme de données régionale et nationale, le stockage des données brutes primaires et des données primaires légèrement traitées revêt une importance particulière. Cela permet d'éviter que des données similaires ne soient collectées à plusieurs reprises dans le cadre de différents projets menés à proximité immédiate. Ainsi, les ressources sont préservées et les explorations supplémentaires sont plutôt menées là où les incertitudes sont les plus grandes.

L'intégration de données interprétées sur des plateformes de données présente également un intérêt. La question se pose toutefois de savoir à qui incombe la tâche de mettre à jour les modèles si de nouveaux points de données viennent s'y ajouter. Des questions de responsabilité se posent également. Les bureaux de géologie ont généralement souscrit des assurances pour leurs projets. Toutefois, si les interprétations s'avèrent erronées et sont utilisées pour d'autres projets, il n'y a probablement pas de couverture d'assurance et les données brutes doivent donc être accompagnées d'une clause de non-responsabilité. De plus, il est plus difficile d'obliger juridiquement les bureaux de géologie à publier leurs interprétations et leur propriété intellectuelle, et donc à les partager avec leurs concurrents. Ces questions devraient être clarifiées sur le plan juridique. Il est donc certainement plus judicieux de se concentrer dans un premier temps sur les données brutes primaires et les données primaires traitées.

À partir de données primaires structurées et enregistrées, les cantons peuvent, de manière simplifiée, créer et mettre à jour des cartes de planification basées sur les données, par exemple des plans sectoriels pour l'extraction de matériaux de construction, des cartes des secteurs de protection des eaux et des zones de protection des eaux souterraines, ou encore les surfaces réservées aux infrastructures souterraines.

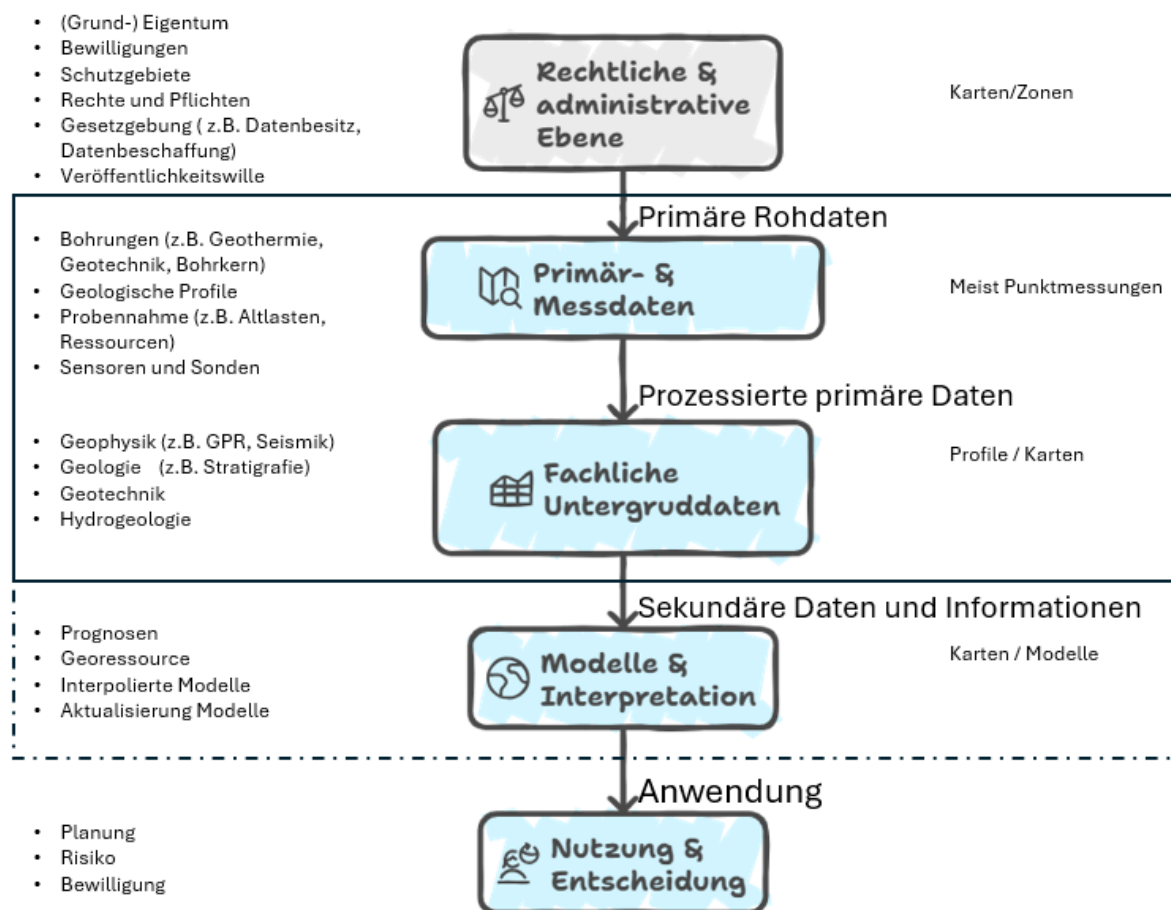


Figure 5 : schéma du degré de traitement des données

Bases légales

Au-delà des géodonnées du sous-sol, certains aspects juridiques et administratifs influent sur la disponibilité des données. La plupart des cantons ainsi que la Confédération ont instauré le principe de transparence. Celui-ci vise à permettre au public de consulter les documents des autorités. Or, en ce qui concerne les géodonnées du sous-sol, les autorités ne sont souvent pas les seules détentrices de ces données. C'est pourquoi la publication de telles données est controversée dans certains cantons, même lorsque ceux-ci souhaitent les rendre publiques. Les détenteurs privés de données tirent moins d'avantages de la publication des données. Disposer de davantage de données propres peut constituer un avantage concurrentiel par rapport à la concurrence, mais cela entraîne des coûts supplémentaires pour les maîtres d'ouvrage privés. Cependant, tout le monde profite d'une base de données accessible au public, et celle-ci est également très demandée par le secteur privé. En l'absence de base légale claire, il est important de préciser dans les appels d'offres que l'autorité qui délivre l'autorisation (Confédération, canton, commune) est propriétaire des données et est habilitée à les publier. Le mandataire doit donc en tenir compte dans le calcul de ses offres. Cela vise à empêcher la création de monopoles sur les données. La situation est plus complexe pour les géodonnées du sous-sol existantes, car

les conditions ont été modifiées après la conclusion du contrat et leur publication nécessite un travail supplémentaire de recherche et de numérisation des archives. Si la volonté politique est présente, des lois peuvent être adoptées pour permettre la publication des données. À titre d'exemple, le canton d'Argovie a promulgué une loi stipulant que tous les forages de plus de 100 m doivent être mesurés et que les données doivent être fournies au canton (SAR 781.200 – Loi d'application de la législation fédérale sur la protection de l'environnement et des eaux – Canton d'Argovie – Recueil des actes législatifs). Sans base légale, les autorités ont les mains liées et ne peuvent pas remplir leur mission de transparence comme elles le souhaiteraient. Au niveau fédéral, la LGéo a été renvoyée par le Parlement au Conseil fédéral. Ce renvoi s'accompagne de la mission d'élaborer la définition des données d'intérêt national et de fixer la rémunération pour la remise des données.

Compétences des communes, des cantons et de la Confédération

Selon le projet, différentes autorités sont compétentes pour délivrer les autorisations. La Confédération approuve les projets d'importance nationale (par exemple, les dépôts de déchets nucléaires), les cantons les grands projets d'infrastructure tels que les hôpitaux, et les communes sont compétentes pour les autorisations sur le territoire communal. La compétence et les règles juridiques relatives à la collecte des géodonnées dépendent donc de l'autorité responsable du projet. La plupart des autorisations de projets sont délivrées par les communes, mais elles sont soumises à des conditions cantonales, telles que la protection des eaux et de l'environnement ; les forages profonds doivent généralement être autorisés par le canton. Pendant la phase d'autorisation, les autorités reçoivent les plans relatifs aux interventions dans le sous-sol. Lors de la réalisation des projets, il arrive souvent que l'on s'écarte du plan approuvé pour diverses raisons. Ces modifications sont parfois soumises aux autorités, mais celles-ci ne sont pas en mesure de vérifier l'exhaustivité et l'exactitude de l'ensemble des données. C'est pourquoi, même pour les nouvelles constructions, il arrive souvent que l'emplacement des conduites, des ancrages, des forages, etc. s'écarte de l'emplacement autorisé sans que les autorités en aient connaissance. Même lorsque les autorités disposent des plans au format PDF indiquant l'ensemble des conduites, leur intégration dans un SIG nécessite un travail important. Changer cette situation n'est pas une mince affaire et la question se pose de savoir quelles ressources il convient d'investir pour améliorer la fiabilité des données.

Hiérarchisation de la collecte des données

Il est important de définir les objectifs à atteindre avant de déterminer quelles données doivent être collectées. Ces objectifs évolueront au fil du temps. De manière générale, les données enregistrées dans une base de données souterraine doivent contribuer à simplifier la planification des projets en créant une meilleure base de données et en identifiant les conflits à un stade précoce. Cela permet de réduire les risques liés aux projets. Pour l'octroi d'autorisations de projets, les cas de refus (NO-GO) devraient être plus clairement identifiables. En principe, la priorité doit être donnée à la collecte de données qui améliorent la compréhension des conditions souterraines à une échelle un peu plus large. Celles-ci constituent la base de divers scénarios d'utilisation tels que l'exploitation des ressources, les projets de construction et la protection des eaux souterraines (voir chapitre 4.2). Ces données (par exemple, les données de forage) doivent pouvoir être saisies aussi facilement que possible sur des plateformes de données afin de limiter la charge de travail pour toutes les parties prenantes. Il est important de définir un format de données standardisé, car c'est le seul moyen de dériver facilement, à partir des données brutes primaires, des informations utiles à la protection et à l'utilisation durable et coordonnée du sous-

sol à l'échelle intercantonale. Dans ce contexte, il convient de définir des modèles de géodonnées minimaux, qui sont expliqués plus en détail au chapitre 4.3. Les données proches de la surface, telles que les conduites, sont importantes pour éviter les conflits entre différents projets réalisés et prévus. Il est important de les enregistrer dans la mesure du possible, y compris les informations altimétriques (par exemple, cotes d'entrée et de sortie des chambres). Les incertitudes susmentionnées concernant l'emplacement exact des câbles posés font douter de l'intérêt réel de modéliser et d'intégrer tous les câbles en 3D. En tout état de cause, cette modélisation n'est pas une priorité absolue.

4.2. Définition des hiérarchies, des relations et des scénarios d'utilisation

Comme décrit au chapitre 4.1, les données de cette étude sont classées en fonction de leur degré de traitement. La figure 6 les met en correspondance avec les différentes disciplines. Cette illustration a pour but de donner des exemples de classification, mais n'est pas exhaustive. Un forage fournit souvent des informations relevant de plusieurs disciplines, à condition qu'il soit équipé des instruments appropriés. D'une part, les carottes permettent d'identifier les surfaces de contact et les formations géologiques. D'autre part, à l'aide de capteurs placés dans le forage, il est possible de mesurer par exemple les infiltrations d'eau ou la température à différentes profondeurs, ainsi que de détecter des modifications du sous-sol (par exemple des tassements et des déplacements horizontaux). De plus, des mesures géophysiques dans le forage permettent d'évaluer la lithologie, les propriétés hydrogéologiques, mécaniques, physiques et chimiques, ainsi que la géologie structurale autour du forage. Toutes ces informations permettent d'établir le profil du forage et d'évaluer les unités géologiques.

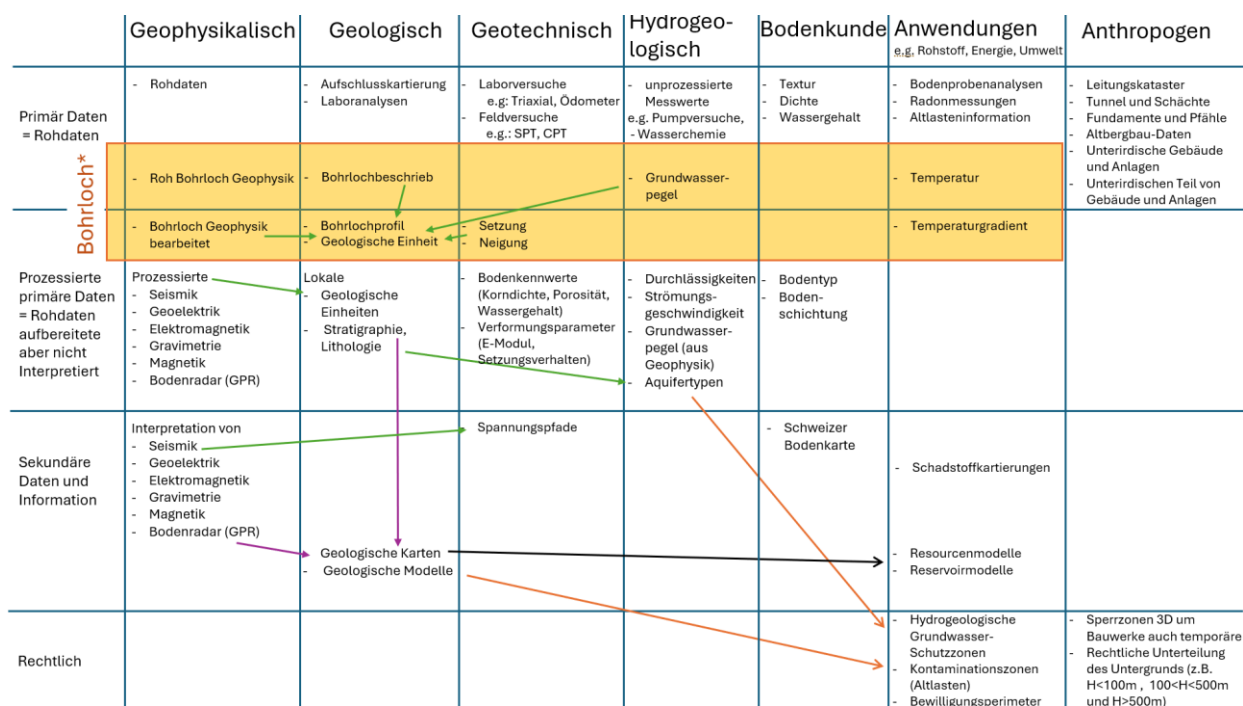


Figure 6 : Catégorisation de différentes géodonnées du sous-sol. Le schéma est disponible en haute résolution en annexe à la page 170.

Données géotechniques, géologiques et géophysiques

Des mesures géophysiques sont également effectuées en dehors des forages ; elles permettent en principe de déterminer les mêmes caractéristiques que les mesures réalisées dans les forages. Les unités géologiques, la stratigraphie et la lithologie sont déterminées, entre autres, à partir de cartographies de l'affleurement, d'analyses en laboratoire, d'informations issues des forages ainsi que de données géophysiques traitées. Ces données sont ensuite utilisées pour établir des cartes géologiques et des modèles géologiques. L'interprétation des données géophysiques est également utilisée, le cas échéant. Ces cartes et modèles géologiques constituent ensuite la base des modèles de ressources et de réservoirs. Dans le cas des applications géothermiques, on utilise en particulier les données de température obtenues à partir des forages.

Certains paramètres géotechniques (angle de frottement, cohésion) sont déterminés directement par des essais en laboratoire et sur le terrain. D'autres caractéristiques du sol et paramètres de déformation peuvent être déduits de ces essais. À partir des données géotechniques et de leur interprétation, il est également possible d'estimer les chemins de contrainte.

Données hydrogéologiques :

Les informations hydrogéologiques sont obtenues à partir de forages et d'essais sur le terrain, tels que des essais de pompage. De plus, divers paramètres de la chimie de l'eau sont déterminés à partir d'échantillons d'eau (pH, salinité, substances dissoutes, etc.). À partir de ces données brutes, on déduit ensuite, entre autres, les perméabilités hydrauliques et les vitesses d'écoulement ; les types d'aquifères peuvent être déterminés en fonction de la nature de la roche et de la présence de cavités, de pores, de fissures et de cavités karstiques. Associées à des cartes et des modèles géologiques, ces données constituent la base pour la délimitation de zones de protection des eaux souterraines ou d'autres données secondaires pertinentes.

Pédologie

En pédologie, la texture, la densité et la teneur en eau du sol sont souvent déterminées à partir de tranchées de sondage. Ces données sont ensuite utilisées pour déterminer le type de sol et sa stratification. Elles peuvent ensuite être traitées et interpolées afin de mettre à jour la carte des sols de la Suisse. Les échantillons de sol et de matériaux meubles peuvent également être analysés pour détecter la présence de contaminants et de polluants. Associés à des informations sur les sites contaminés, telles que l'historique d'utilisation, ces échantillons constituent la base de la cartographie des polluants.

Géodonnées relatives aux infrastructures anthropiques du sous-sol

Les géodonnées relatives aux infrastructures anthropiques du sous-sol sont généralement des données primaires. Ce ne sont pas les attributs qui sont déterminants, mais l'emplacement et la géométrie. En vue d'utilisations futures, les ouvrages doivent être considérés comme des obstacles potentiels ; il convient également d'éviter que des éléments de construction ne soient endommagés pendant leur exploitation. Aujourd'hui, les zones interdites sont définies sur la base de cartes en 2D. Par exemple, aucun forage géothermique ne peut être réalisé au-dessus d'un tunnel. À l'avenir, l'espace pourrait être davantage envisagé en 3D. Ainsi, il ne serait plus nécessaire de fermer des zones entières en 2D, mais uniquement les applications qui entrent en conflit avec l'ouvrage existant, y compris une distance de sécurité définie.

Aujourd'hui, la propriété du sous-sol est réglementée de telle sorte que les propriétaires de parcelles privées exercent leurs droits en profondeur dans la mesure où ils peuvent démontrer un intérêt digne de protection compatible avec l'intérêt public. À l'avenir, cependant, une subdivision du sous-sol en fonction de la profondeur s'imposera. À l'instar de l'aménagement du territoire en surface, les intérêts des différentes parties prenantes – particuliers, communes et villes, cantons et Confédération – vont se renforcer à l'avenir dans le sous-sol, ce qui peut entraîner des conflits. En ce sens, la nécessité d'une planification territoriale anticipée ne fera que croître.

4.3. Modèles de géodonnées minimaux (MGDM)

Comme décrit au chapitre 4.1, les géodonnées du sous-sol doivent pouvoir être saisies le plus simplement possible sur des plateformes de données afin de limiter la charge de travail pour toutes les parties prenantes. En principe, un modèle de données définit la structure de base des données, y compris leurs formats, leurs contenus, leurs classes ainsi que les relations entre elles. Il constitue ainsi la base pour la création et l'exploitation des bases de données correspondantes. Certains modèles de géodonnées du sous-sol sont définis au niveau fédéral (swisstopo) et cantonal, mais ils sont généralement très différents les uns des autres, trop détaillés et compliquent ainsi l'intégration simple de toutes les données. Pour simplifier les choses, un modèle minimal est proposé, qui identifie le plus petit dénominateur commun entre les cantons et la Confédération et se limite aux informations techniques essentielles, généralement disponibles. À cette fin, les modèles de données existants sont harmonisés et complétés si nécessaire par les informations indispensables, de sorte que les géodonnées du sous-sol puissent être comprises, échangées et réutilisées sans ambiguïté – sans imposer de détails spécifiques au projet ni d'interprétations techniques.

Analyse des modèles existants (en détail au chapitre 5)

L'analyse montre que des modèles de géodonnées minimaux (MGDM) existent déjà pour certains domaines techniques (p. ex. dans le domaine des eaux souterraines), tandis que dans d'autres domaines tels que la pédologie ou les forages, il n'existe pour l'instant que des propositions ou des modèles en cours d'élaboration. Parallèlement, certains cantons ont développé leurs propres modèles pour des applications spécifiques, par exemple dans le domaine de la géothermie profonde.

Cette évolution entraîne parfois des différences de niveau de détail ainsi que des incohérences dans la structure et la nomenclature, ce qui complique l'interopérabilité et la réutilisabilité des données.

Il est donc recommandé de mieux coordonner les futurs travaux de modélisation et de définir des structures de base interdisciplinaires ainsi que des désignations cohérentes. Cela permettra de garantir que les données du sous-sol puissent être utilisées efficacement pour différentes applications et échangées plus facilement entre la Confédération, les cantons et les services spécialisés.

La mise en œuvre formelle définitive des modèles devrait s'effectuer au moyen d'INTERLIS, tout en déterminant si seul l'échange de métadonnées doit s'effectuer via INTERLIS et si les données brutes primaires plus volumineuses doivent être reliées à d'autres bases de données. Les modèles proposés suivent trois principes directeurs centraux : premièrement, la séparation

claire entre métadonnées, mesure et interprétation, les données primaires étant clairement distinguées des dérivés techniques. Deuxièmement, une modélisation centrée sur le SIG, dans laquelle les données sont orientées vers des objets ponctuels, linéaires et surfaciques et sont compatibles avec les infrastructures SIG cantonales courantes. Troisièmement, l'extensibilité, qui permet aux cantons d'ajouter des attributs ou des modèles spécialisés supplémentaires sans modifier le cœur du modèle minimal.

Liaison entre les données brutes et les modèles complets

Comme la plupart des géodonnées du sous-sol sont basées sur des forages, la figure 7 illustre, à l'aide d'un extrait simplifié d'un modèle minimal de forage, comment les données brutes primaires mesurées peuvent être reliées à des données primaires traitées et interpolées. Pour chaque forage, les métadonnées nécessaires – telles que l'emplacement, l'altitude et le type de forage – sont d'abord saisies. À partir des données brutes mesurées (voir détails à la figure 4), il est par exemple possible de déduire une couche géologique.

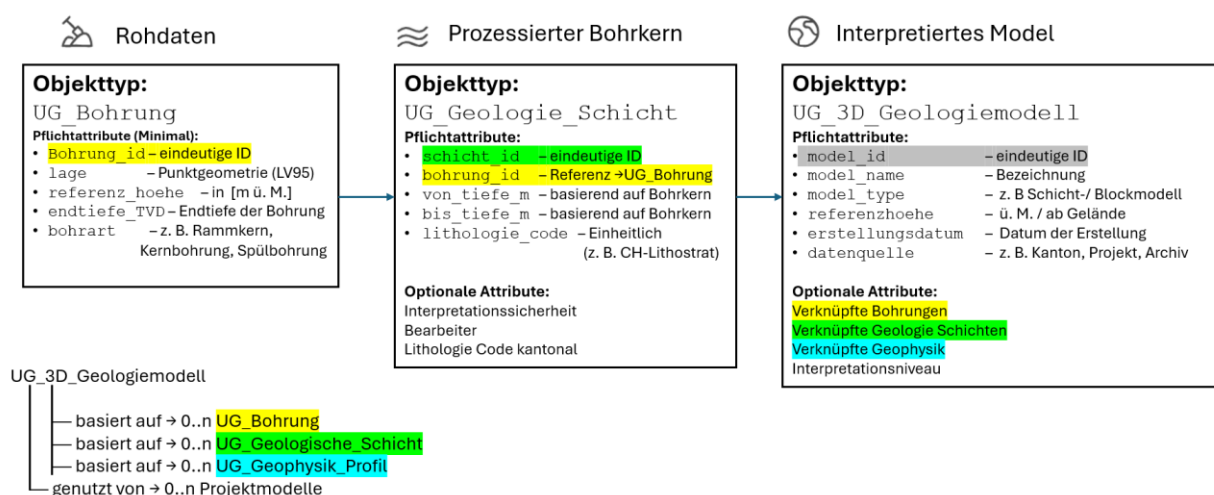


Figure 7 : Exemple de modèle minimal simplifié illustrant les hiérarchies entre les mesures, les données traitées et la modélisation. Le modèle minimal est présenté en haute résolution en annexe à la page 171.

Comme la classification en couches repose généralement sur différentes mesures et observations, elle peut être considérée comme un ensemble de données primaires traitées. L'utilisation de codes lithologiques uniformes garantit en outre que les couches géologiques restent comparables d'un canton à l'autre. Une couche géologique peut contenir des informations provenant de plusieurs forages, mais ce n'est pas obligatoire (relation 0 à n).

Un modèle géologique 3D peut être associé à aucun, un ou plusieurs forages, couches géologiques ou profils géophysiques. Étant donné que la création d'un tel modèle nécessite généralement une interprétation technique, le modèle lui-même ne fait pas partie du modèle minimal, mais constitue une synthèse plus approfondie. Il montre toutefois comment les données sous-jacentes peuvent être réutilisées et intégrées. Les informations relatives à l'incertitude et au degré d'interprétation des données disponibles sont particulièrement précieuses à cet égard.

Exemple de modèle minimal pour les mesures de forage

Pour l'élaboration de la proposition de modèle minimal détaillé de la figure 8, le modèle de données existant de *borehole.swissgeol.ch* a été utilisé comme référence. Dans le modèle minimal, seuls les paramètres habituellement déterminés pour chaque forage sont toutefois pris en compte. Des paramètres supplémentaires peuvent être enregistrés en tant qu'attributs optionnels ou complétés via des ensembles de données liés.

Entité centrale : le forage

Au cœur du modèle minimal se trouve le forage lui-même (encadré en jaune). Chaque forage doit disposer d'un identifiant (ID) unique. Les attributs obligatoires comprennent les informations minimales nécessaires, notamment la date de forage, le type de forage, la longueur ou la profondeur finale du forage, ainsi que l'emplacement sous forme d'ensemble de données lié (coordonnées).

Des informations facultatives telles que l'objectif du forage ou la référence au projet peuvent être ajoutées afin d'améliorer la compatibilité avec d'autres modèles. D'autres métadonnées (marquées en gris), concernant par exemple la géométrie, l'aménagement ou les sections subdivisées, peuvent également être enregistrées – si elles sont disponibles –, seul l'emplacement est obligatoire. Il est toutefois essentiel de ne définir comme attributs obligatoires que les caractéristiques absolument nécessaires et de laisser les informations complémentaires en option. Les attributs facultatifs ne font pas partie du modèle minimal et ne sont pas exhaustifs, mais ils sont présentés dans cette étude afin de mettre en évidence la distinction avec les attributs obligatoires.

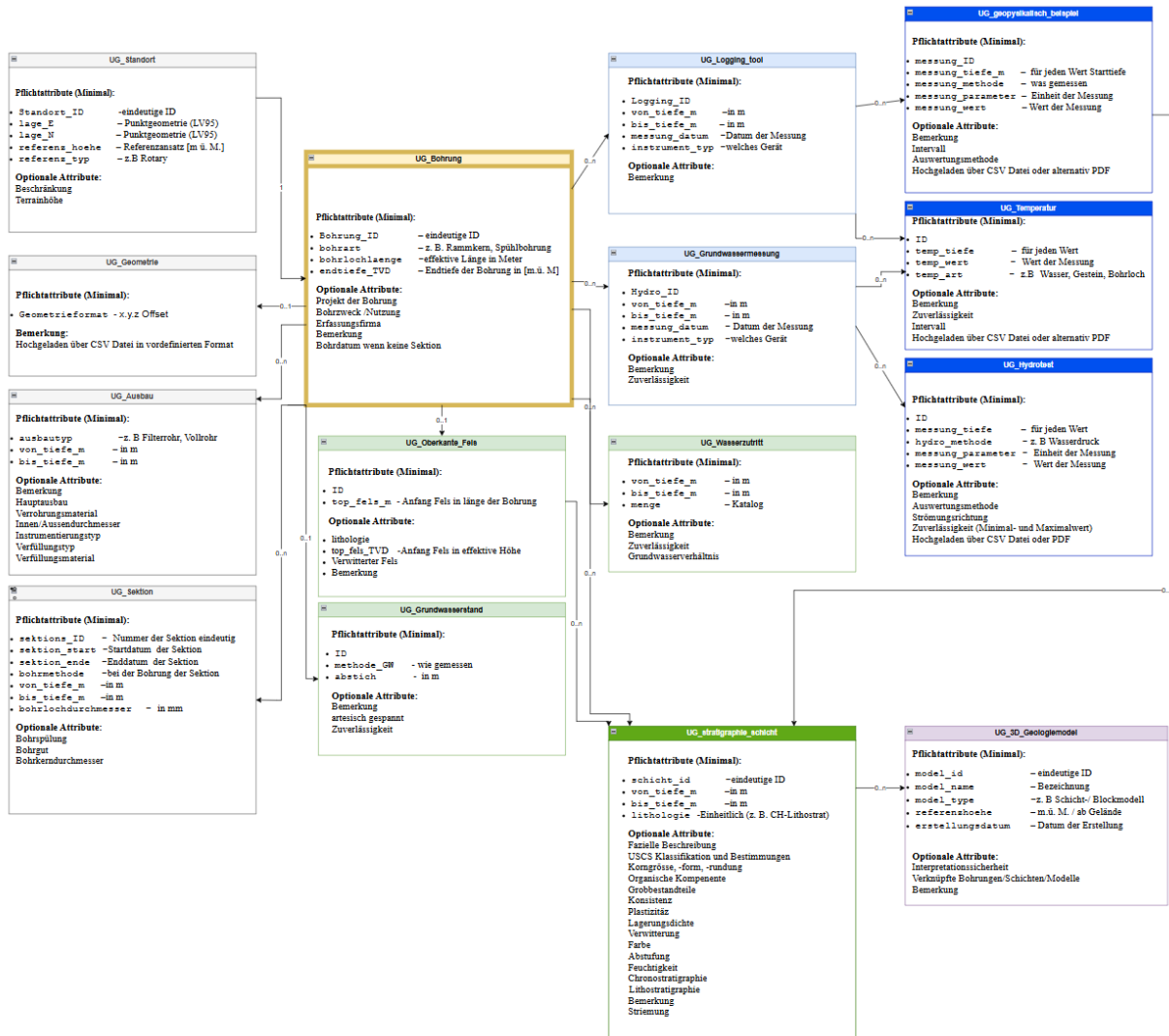


Figure 8 : Modèle minimal détaillé pour les forages basé sur boreholes.swissgeol.ch.

Le modèle minimal est présenté en détail en annexe à la page 172.

Mesures et observations à l'intérieur du forage

Au sein d'un forage, différentes mesures (métadonnées en bleu clair et mesures en bleu foncé) sont souvent effectuées. Pour chaque mesure, il convient d'indiquer au minimum la date de la mesure, le type de mesure ainsi que la profondeur de mesure. Les mesures sont liées au forage selon une relation 1-à-n.

Pour chaque profondeur de mesure, il est possible soit de saisir une valeur de mesure unique, soit de référencer un document contenant les données brutes correspondantes. Le SIG reste ainsi une structure de référence, tandis que les ensembles de données de mesure volumineux peuvent être gérés en externe.

Les observations supplémentaires (marquées en vert clair), telles que le début de la roche ou l'entrée d'eau, sont généralement documentées en lien direct avec le forage et doivent être enregistrées de manière systématique.

Observations et couches déduites

Sur la base de ces observations et mesures, une couche stratigraphique (vert foncé) peut être déduite. Celle-ci est décrite par des limites de profondeur clairement définies ainsi que par un code lithologique ou stratigraphique uniforme. Des paramètres complémentaires, tels que des analyses granulométriques ou des indices de plasticité, peuvent être ajoutés, mais ne sont pas obligatoires, car ils ne sont pas relevés pour chaque forage.

Les couches déduites peuvent être utilisées dans une étape ultérieure pour la création d'un modèle géologique (violet).

Extension pour le domaine d'application de la géothermie

Un deuxième modèle minimal, présenté à la figure 9, est développé schématiquement à partir du modèle de données pour la géothermie profonde du canton de Vaud. Le modèle minimal existant des forages est ainsi étendu de manière ciblée, car dans ce contexte, les forages servent non seulement à l'exploration géologique, mais aussi à l'exploitation énergétique du sous-sol.

Outre les méta-attributs généraux (tels que l'emplacement, le type de forage et la date de forage), des informations supplémentaires sur l'exploitation thermique sont nécessaires. Il s'agit notamment des mesures de température le long du profil de forage, des essais hydrauliques ainsi que des informations sur le statut juridique de la concession (marquées en rouge). Sont également prises en compte les cartes de planification générales, qui reposent sur des données de température interpolées et des profondeurs de couches (vert foncé) et qui relèvent donc du niveau de données secondaires.

Tous ces nouveaux paramètres ne sont toutefois pas intégrés directement dans le modèle central, mais complétés par des entités liées. Il en va de même pour les éventuelles données géophysiques proches de la surface (orange clair pour les métadonnées, orange foncé pour les données de mesure). Ainsi, le forage reste structurellement inchangé en tant que support de données primaire, tandis que les données de mesure et d'interprétation spécifiques peuvent être reliées de manière modulaire. Les données brutes volumineuses ne doivent pas être stockées directement dans le modèle minimal, mais sont enregistrées dans d'autres bases de données via des liens.

Cette approche garantit que des modèles de structure identique restent applicables tant pour les études classiques des sols de fondation que pour les projets de géothermie profonde. Parallèlement, les exigences réglementaires, par exemple en matière de concessions ou de surveillance, peuvent être représentées de manière structurée sans surcharger la structure de base.

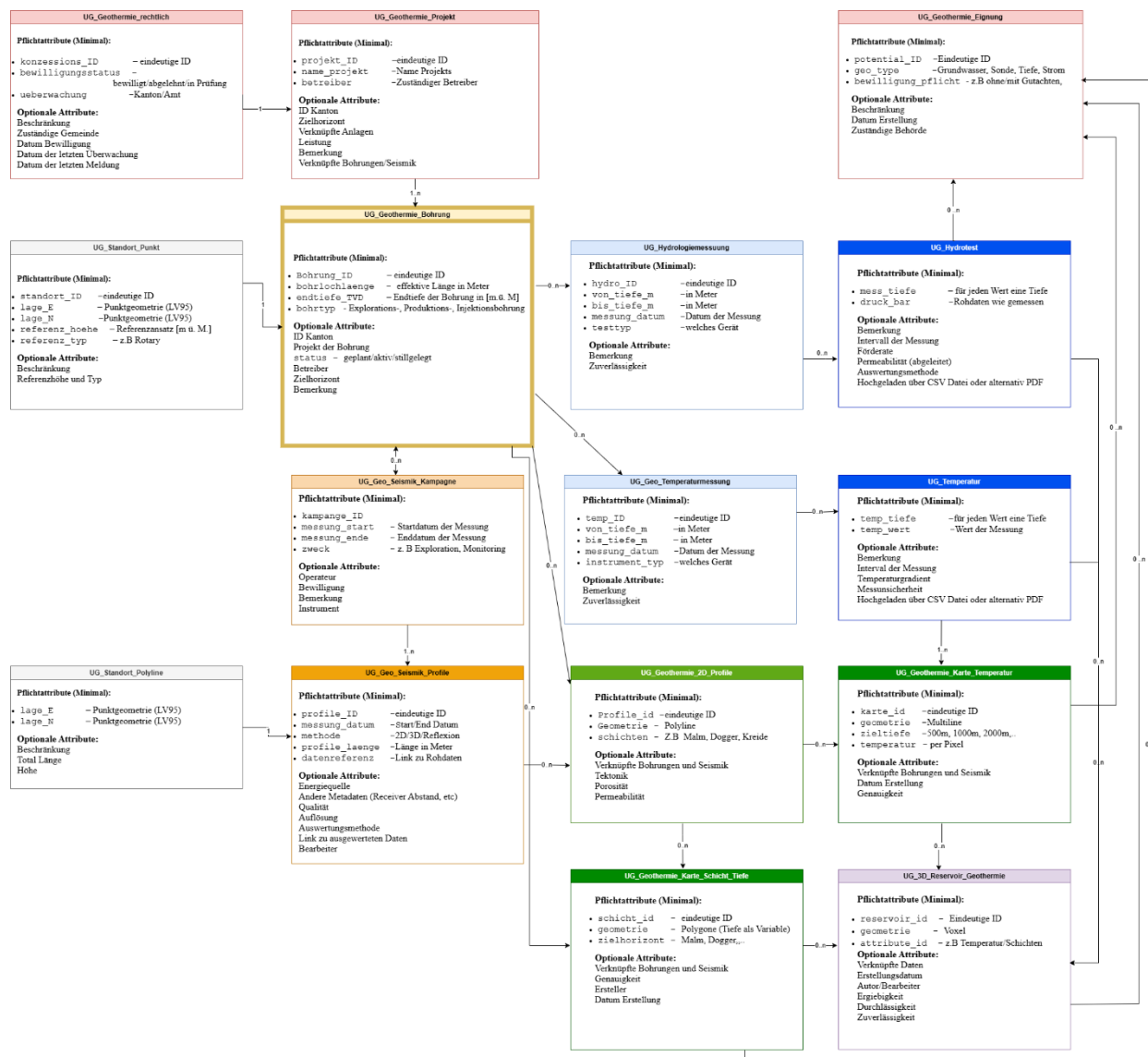


Figure 9 : Modèle minimal pour le cas d'application de la géothermie, basé sur le modèle du canton de Vaud, illustrant une extension possible du modèle de données. Il est important de noter que toutes les entités ne doivent pas nécessairement être présentes. Le modèle minimal est présenté en détail en annexe à la page 173.

Avantages de la réduction

L'extension du modèle minimal des forages dans le contexte de la géothermie profonde illustre de manière exemplaire comment le modèle de base peut être adapté de manière flexible à des exigences techniques spécifiques sans perdre son intégrité structurelle, ce qui permet de conserver la comparabilité des données de mesure pour différents domaines d'application. Cet exemple montre également que des informations techniques, réglementaires et interprétatives supplémentaires peuvent être ajoutées de manière modulaire, tandis que le cœur du modèle reste stable et interopérable.

Les modèles minimaux développés illustrent comment structurer les géodonnées du sous-sol sans compromettre la rigueur technique ni empêcher de futures extensions. La séparation claire entre le forage en tant que support de données primaire, les mesures et observations associées ainsi que les couches géologiques qui en découlent permet de créer une hiérarchie de données transparente. Celle-ci permet de stocker les données brutes de manière traçable tout en délimitant clairement les niveaux d'interprétation.

La réduction délibérée à quelques attributs obligatoires strictement nécessaires, structurés de manière cohérente pour des mesures et interprétations comparables, facilite la saisie des données et l'intégration d'ensembles de données hétérogènes existants. Parallèlement, le modèle reste ouvert à des extensions techniques sans modifier la structure de base. Un équilibre est ainsi atteint entre standardisation et flexibilité.

Mise en œuvre

Dans l'ensemble, le modèle minimal contribue à rendre les géodonnées du sous-sol utilisables à long terme, traçables et échangeables entre les systèmes. Il ne définit pas le niveau maximal de détail technique, mais l'exigence structurelle minimale nécessaire pour développer, à partir de points de mesure individuels, des bases d'information et de modélisation cohérentes. Pour les systèmes cantonaux, cela signifie une base robuste et interopérable, capable d'intégrer aussi bien les données historiques que futures. Au niveau national, le modèle minimal crée les conditions préalables à l'harmonisation et à la comparabilité, sans restreindre l'autonomie des cantons.

5. Complément à l'AP3 : aperçu des modèles minimaux existants

5.1. Aperçu des données utilisées

En complément de l'AP3, les modèles de géodonnées du sous-sol déjà existants ont été recensés au moyen de la liste de diffusion existante ; au total, 15 réponses ont été reçues des cantons et services spécialisés suivants.

Tableau 1 : aperçu des réponses

Service spécialisé/canton	Domaine	Nom
OFEV	Eaux souterraines	Stefanie Wirth
Canton de Bâle-Ville	Office de l'environnement et de l'énergie	Stefan Scheidler
Canton de Bâle-Campagne	Office de la protection de l'environnement et de l'énergie	Adrian Auckenthaler
Canton de Fribourg	Office des constructions et de l'aménagement du territoire (BRPA)	Anna Sommaruga
Canton de Genève	Département du territoire (DT)	Stéphanie Favre
Canton de Schaffhouse	Génie civil de Schaffhouse	Jürg Sturzenegger
Canton de Schwyz	Office de l'environnement et de l'énergie	Zlatko Mrnjec
Canton de Saint-Gall	Office de l'eau et de l'énergie	Paul Pfenninger
Canton du Tessin	Département du territoire	Simone Albertini
Canton de Thurgovie	Département des travaux publics et de l'environnement	Dorothea Stumm
Canton de Vaud		Reçu précédemment
Canton de Zurich AWEL	Office des déchets, de l'eau, de l'énergie et de l'air	Antonella Toth
SIA	précédemment	Martin Riniker
swisstopo	Réponse reçue précédemment	Michael Gysi
Canton de Lucerne	Lien reçu	

Outre la liste des modèles de données spécifiques, la majorité des cantons ont renvoyé à leurs géoportails existants ainsi qu'à des plateformes nationales (p. ex. geodienst.ch, geocat.ch). Les modèles de données qui y sont accessibles au public ont été ponctuellement intégrés à l'analyse et sont indiqués en jaune dans la figure 10. Une matrice simplifiée, qui met également en évidence les différentes lacunes et chevauchements, est présentée dans la figure 11. Il convient de noter que les réponses reçues dépendent fortement du service spécialisé contacté et de sa définition du terme « sous-sol ». Comme le souligne notamment le canton de Zurich, les villes et les communes disposent également de données primaires pertinentes et, dans certains cas, de leurs propres modèles de données, en particulier dans le cadre de projets de construction.

Dans l'ensemble, les modèles de géodonnées du sous-sol existants en Suisse présentent une image hétérogène. Les réponses reçues ont été structurées par domaine de spécialité (géologie, géotechnique, hydrogéologie, etc.) et par domaine d'application, puis répertoriées dans la figure 12 et représentées schématiquement dans l'illustration. Une distinction claire est particulièrement difficile à établir pour les forages et les rapports, c'est pourquoi ceux-ci sont classés dans une catégorie distincte.

Wer	Primäre Daten Bohrung	Geophysikalisch & Geotechnisch	Geologisch	Bodenkunde	Hydrogeologisch	Anwendung: Grundwasser	Anwendung: Geothermie	Anwendung: Altlasten	Anthropogen
Bafu				-Ergebnisse Bodenbelastung -NaBoDat Modelle	-Hydrogeologische Karte der Schweiz -Nationales Messnetz zur Erhebung der Grundwasser-Quantität und -Qualität	-Inventar Trinkwasserversorgung -Grundwasseraustritte, -fassungen, -anreicherungsanlagen -Grundwasservorkommen -Planerischer Gewässerschutz		-Kataster der belasteten Standorte (alle Kantone)	
Kanto Freiburg	-Bohrungen von belasteten Standorten -Baubedingte Bohrungen -Geologische/Geotechnische Berichte	zum Teil in primär Daten	-3D-Modell der Geologie des Mittellands				-Bohrungen für Erdwärmesonden		
Kanton Basel Land	-Bohrkataster (nicht öffentlich)				- qualitative Daten zum Grundwasser		-Oberflächennahe Erwärmung Eignungskarte		-Werkataster Abwasser
Kanton Basel Stadt	-Bohrkataster					-Grundwasservorkommen -Ökomorphologischer Gewässerzustand			
Kanton Genf	-Bohrungen -geologische/hydrogeologischer Berichte	zum Teil in Berichten		-kein Modell aber im GIS	-hydrochimique (Grundwasser und Altlasten)				
Kanton Luzern	-Untergrundinformationen und Bohrkataster				-Messstellennetz: Wasser und Boden		-Erdwärmennutzung		
Kanton Schaffhausen			-Plan geologisches 3D-Untergrundmodell aus Erdsondenbohrdaten				-Grundwassermodell zur Beurteilung geplanter thermischer Nutzungen (GEMTool) (nicht öffentlich)		
Kanton Schwyz	-geologische Berichte -Bohrungen			-Hinweiskarte Bodenverwertung -Prüfperimeter Bodenverschiebung		-Grundwasservorkommen -Grundwasseraustritte (in Entwicklung) -Grundwassermessstellen -Gewässerschutz	Wärmennutzungskarte	-Abfall und Rohstoffe -Kataster Belasteter Standorte	
Kanton St Gallen	- Sondierbohrungen					-Grundwassermodelle (nicht öffentlich)			
Kanton Tessin	-nicht öffentlich und kein Interlis			-Prüfperimeter Bodenverschiebung		Grundwasserspiegel (nicht öffentlich)	-Geothermie Nutzung -Sonden		-Kommunale Sammelkanäle und Kanalisation -https://www.vsa.ch/models/
Kanton Thurgau	-Bohrdatenbank		-Geologie: Geologische Übersichtskarte	-Bodenbelastungen Hinweiskarte		-Grundwasservorkommen (Bafu) -Grundwassermodell	Eignungszonen Erdwärmesondenbohrungen	-Altlasten -Kataster belasteter Standorte	- Wasser Werkinformation
Kanton Waadt	-Cadastre géologique	im Geothermie Modell					Kadasterplan Tiefengeothermie		
Kanton Zürich	-Bohrprofile (nicht öffentlich)			-Bodenkarten		-Grundwasserinformation	thermische Nutzen	-Kataster der belasteten Standorte (KbS)	-Leitungskataster -Tunnel und Stollen
Landesgeologie/ Swisstopo	https://boreholes.swissgeol.ch/	-Profile Seismik https://assets.swissgeol.ch/	-Geologische Grundlagenkarten -3D Modelle in Aufbau						
SIA									SIA 405 Werkinformations- und Leitungskataster-Daten

Figure 10 : Tableau des réponses reçues classées par domaine de spécialité ; les modèles de données complémentaires ponctuels issus du navigateur web SIG sont surlignés en jaune

	<i>Données primaires</i>		<i>Données et informations secondaires</i>		Chevauchement	Résumé
	<i>Confédération</i>	<i>Canton</i>	<i>Confédération</i>	<i>Canton</i>		
Géophysique	⚠️ swissgeol pas de MGDM	⚠️ en partie Données généralement au format PDF	✗	✗	Peut améliorer les modèles 3D du sous-sol	! Non harmonisé, données non structurées
Géotechnique			✗	✗	Important pour les nouveaux ouvrages	
Géologie			✓ Cartes de base	⚠️ Modèles 3D propres dans certains cas	-Base pour la plupart des applications -Mise en correspondance détaillée du MNT fédéral avec les « cadastres » cantonaux	⚠️ Données disponibles, mais non reliées entre elles ! Non harmonisées
Pédologie	✓ NABO/OFEV	⚠️ majoritairement reprises	⚠️ parfois sans MGDM	⚠️ Cartes dans le navigateur SIG	Données primaires en partie importantes pour les cartes historiques, la géotechnique	⚠️ MGDM parfois trop détaillé
Hydrogéologie	✓ OFEV	⚠️ Principalement reprises + données propres	✓ Cartes de base	⚠️ généralement reprises	– Reprise du MGDM national - en partie bases de données, cartes et modèles 3D propres	Modèle de données logique pour les données sur les eaux souterraines en cours d'élaboration
Eaux souterraines	✓ OFEV	⚠️ généralement repris	✓ OFEV	⚠️ généralement repris, modèles 3D propres dans certains cas		
Géothermie	✗	⚠️ Principalement des plans cadastraux	✗	⚠️ variable, souvent des cartes d'aptitude	Importants recoupements avec d'autres domaines spécialisés	! Pas d'harmonisation
Sites contaminés	✗ non visible	✗ non visible	✓ Cadastre	✓ Repris	Pas relié à d'autres données du sous-sol pour le moment	⚠️ isolé Non relié aux données primaires
Données anthropiques	⚠️ En cours de traitement	⚠️ selon la commune/les ouvrages				! non intégrées

Figure 11 : matrice simplifiée des différents domaines spécialisés, pour mettre en évidence les lacunes et les chevauchements

5.1.1. Données primaires telles que forages et rapports pour la géologie et la géotechnique

La majorité des cantons cartographient dans leurs systèmes SIG les emplacements des sondages, des forages et, dans certains cas, des expertises géologiques (p. ex. FR, GE, VD, SZ, TG, ZH). Ces représentations servent toutefois souvent principalement à soutenir spatialement la procédure d'autorisation ainsi qu'à stocker des données en interne. Dans de nombreux cas, les rapports correspondants ne sont pas accessibles au public. Tous les cantons n'ont pas enregistré de modèle de données correspondant aux données SIG (p. ex. FR, LU, GE, TI). La plupart du temps, les forages sont visualisés en fonction de leur objectif.

Les modèles de données existants (p. ex. BS, SZ, TG, VD) se limitent généralement à la saisie de métadonnées de base, notamment :

- Emplacement (désignation hétérogène, p. ex. emplacement, point de mesure, installation ; parfois en tant que classe distincte, parfois intégré dans la classe principale)
- Service ayant saisi les données (désignation non uniforme)
- Objectif du forage ou du rapport
- Date
- Lien vers la documentation

Il convient de noter que ni la structure ni la dénomination des attributs ne sont standardisées, ce qui complique la comparabilité et la réutilisation des données. Seuls quelques cantons stockent les données primaires mesurées ou les couches géologiques de manière structurée dans une base de données ; la plupart les archivent sous forme de fichiers PDF.

Au niveau national, l'initiative de swisstopo met à disposition, via la plateforme *assets.swiss-geol.ch*, un référentiel de données géoréférencées pour les projets fédéraux. Il existe en outre une plateforme dédiée aux forages, « Boreholes of Switzerland ». Un modèle de données relativement détaillé est ainsi disponible, en particulier pour les données de forage, qui peut servir de base au développement du MGDM (cf. chapitre 4).

Les initiatives existantes constituent une base importante, mais montrent en même temps que la prochaine étape de développement en matière de normalisation et d'intégration des données primaires ne se limite pas au simple stockage du rapport.

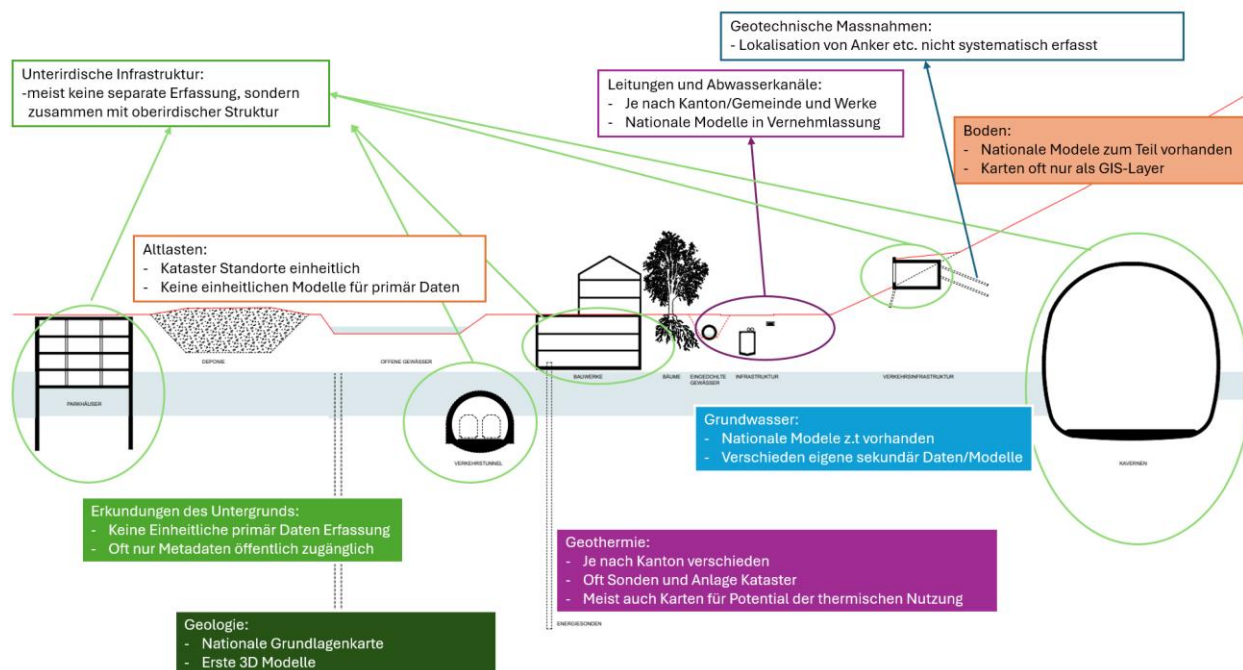


Figure 12 : Esquisse d'une représentation schématique des modèles de données existants

5.1.2. Géophysique et géotechnique

Dans les domaines de la géophysique et de la géotechnique, peu de commentaires ont été reçus concernant des modèles de données spécifiques pour les données brutes ou traitées. Les commentaires se limitent généralement aux métadonnées détaillées relatives aux forages ou aux rapports.

En géophysique, notamment pour les mesures sismiques, celles-ci sont répertoriées sous forme de catégories dans les cadastres géologiques cantonaux (p. ex. dans les cantons de Vaud et de Genève). Dans le modèle de données sur la géothermie profonde du canton de Vaud, les attributs relatifs aux mesures sismiques sont en partie détaillés. De plus, swisstopo met à disposition des profils issus de campagnes sismiques de réflexion publiques. Il manque toutefois un modèle de données uniforme pour les données géophysiques. Il n'existe notamment aucune structure standardisée pour d'autres méthodes telles que la géoélectricité ou le géoradar de surface. Se pose en outre la question fondamentale de savoir quelles données doivent être intégrées dans un modèle minimal et à quel niveau de traitement (données brutes, données traitées ou résultats interprétés).

Dans le domaine de la géotechnique également, il n'existe pratiquement pas de modèles de données standardisés pour les données de mesure. Or, les valeurs de mesure géotechniques proprement dites (p. ex. essais en laboratoire, mesures in situ) ne sont généralement pas enregistrées de manière structurée. Cela est d'autant plus pertinent que de grandes quantités de données géotechniques primaires sont collectées, notamment dans le cadre de projets d'infrastructure. Une saisie systématique et structurée de ces données pourrait offrir une valeur ajoutée considérable pour des applications futures, par exemple pour la planification, la

modélisation ou la surveillance. De même, les mesures géotechniques telles que les ancrages ne sont pas systématiquement enregistrées.

Dans l'ensemble, il apparaît qu'il existe un manque flagrant de modèles de données standardisés pour les données primaires, tant en géophysique qu'en géotechnique. Ces deux domaines sont pourtant fortement axés sur les données et jouent un rôle central dans la compréhension du sous-sol, ce qui explique pourquoi il existe ici un potentiel particulier pour de futures mesures de normalisation et d'harmonisation.

5.1.3. Géologie

Outre les données primaires issues des forages et des rapports, des cartes géologiques générales de la Confédération ont été mentionnées de manière sporadique. De plus, dans de nombreux cantons, des cartes secondaires telles que celles représentant les recouvrements rocheux ou graveleux sont disponibles dans les navigateurs SIG.

Dans le domaine des modèles souterrains en 2D et 3D, les premiers développements sont en cours :

- Modèle souterrain 2D des roches meubles dans la vallée du Rhin (SG, GR, FL, AT)
- Modèle souterrain 2D de l'IRR sur le Rhin alpin, du lac de Constance à l'embouchure de l'III (SG)
- Modèle 3D du sous-sol couvrant l'ensemble du territoire du canton de Schaffhouse (basé sur des données de forage)
- Modèles liés à des projets dans le canton de Fribourg (en collaboration avec l'Université de Fribourg, partiellement transférés à la Confédération)

Ces modèles s'appuient principalement sur des données de forage existantes et montrent le potentiel des données primaires structurées pour l'obtention d'informations et de données secondaires plus approfondies.

5.1.4. Pédologie

Le Centre de compétence Sol, en particulier le système d'information sur les sols NABODAT, a développé des modèles de données pour la saisie de diverses données primaires. Celles-ci sont toutefois très détaillées. Un MGDM commun (Confédération et cantons) a notamment été développé pour les mesures des sols pollués

- Résultats de l'Observation nationale de la pollution des sols (NABO) et résultats de la surveillance cantonale de la pollution des sols (ID 124, 125)

Par ailleurs, peu de retours ont été reçus dans le domaine de la pédologie, car celui-ci se situe souvent en dehors des domaines spécialisés concernés et n'est pas toujours considéré comme relevant des géodonnées du sous-sol au sens classique. La majorité des cantons met toutefois à disposition des cartes de base dans les géoportails, qui sont souvent gérés comme des couches SIG indépendantes sans modèles de données.

Comme pour les données géologiques, il apparaît qu'une saisie uniforme et structurée des données primaires faciliterait considérablement la création de produits secondaires (p. ex. cartes sur l'imperméabilisation des sols ou le risque d'érosion).

5.1.5. Hydrogéologie / Eaux souterraines

Comme la plupart des données hydrologiques communiquées concernent les eaux souterraines, celles-ci sont regroupées.

Dans le domaine des eaux souterraines, il existe plusieurs modèles établis, notamment au niveau fédéral (OFEV), parmi lesquels :

- Inventaire de l'approvisionnement en eau potable dans les zones de pénurie (ID 66.1)
- Surgissements, captages et installations de recharge des eaux souterraines (ID 141.1)
- Gisements d'eau souterraine (ID 139.1)
- Protection des eaux dans l'aménagement du territoire (130.1, 131.1, 132.1)
- Carte hydrogéologique de la Suisse (ID 135.5)
- Réseau national de mesure de la quantité d'eau souterraine (ID 135.1)
- Réseaux de mesure de la qualité des eaux souterraines (ID 133.2, 133.5, 134.3)

L'OFEV met ainsi à disposition des MGDM tant pour les données primaires (réseaux de mesure) que pour les cartes 2D contenant des données et informations secondaires. Ces modèles sont en partie repris par les cantons et adaptés aux besoins cantonaux, ou sont encore en cours de développement, comme par exemple le modèle de sortie des eaux souterraines dans le canton de Schwyz. Bâle-Campagne dispose à cet effet d'une base de données non publique pour les données qualitatives sur les eaux souterraines et le canton de Genève dispose d'un modèle de données pour les données hydrochimiques.

Les cantons suivants ont mentionné des modèles d'eaux souterraines élaborés à partir de données primaires :

- Thurgovie
- Schaffhouse : modèle des eaux souterraines pour l'évaluation des utilisations thermiques prévues (GEMTool). (ne couvre pas l'ensemble du territoire et n'est pas accessible au public)
- Saint-Gall avec le modèle de perméabilité de la vallée du Rhin saint-gallois en 3D et le modèle hydraulique souterrain de Gossau, de la vallée de la Thur et d'Eschenbach-Jona

Parallèlement, un **modèle de données logique pour les données sur les eaux souterraines** (OFEV, en collaboration avec les cantons et la recherche) est en cours de développement ; il prévoit un lien plus étroit entre les données primaires et les applications, ainsi qu'un MGDM pour les résultats des essais de marquage dans les eaux souterraines et les eaux de surface.

Un modèle de données est en cours d'élaboration pour les essais de marquage, mais on ne sait pas encore si et quand celui-ci deviendra juridiquement contraignant (c'est-à-dire un MGDM au sens de l'OGéo). La loi sur la protection des eaux n'est pas suffisamment précise sur ce point. Les essais de marquage constituent l'un des nombreux outils/méthodes permettant de respecter la loi sur la protection des eaux. L'OFEV développe ce modèle de données dans le cadre de la mise à jour du guide pratique sur les essais de marquage. Ce modèle restera – probablement jusqu'à nouvel ordre – une recommandation de bonnes pratiques (« soft law »).

5.1.6. Application à la géothermie

Le domaine d'application de la géothermie occupe une place particulière dans le contexte des géodonnées du sous-sol, car l'exploration, l'exploitation, les structures souterraines existantes et la réglementation du sous-sol y sont étroitement liées.

Plusieurs cantons disposent déjà de modèles de données ou de jeux de données spécifiques à l'exploitation thermique du sous-sol (p. ex. cartes d'aptitude pour les sondes géothermiques ou cadastres cantonaux de géothermie). Ces modèles s'inspirent parfois des MGDM existants ou les intègrent. Mais il manque souvent un modèle de données structuré, ou du moins accessible au public. D'autres modèles de données sont très détaillés (p. ex. SZ pour les installations d'exploitation thermique) et seuls quelques-uns sont reliés à d'autres jeux de données (p. ex. LU, VD).

Le canton de Saint-Gall dispose d'un modèle hydrothermique du sous-sol de la vallée du Rhin saint-galloise, qui montre l'influence et les effets de l'exploitation thermique des eaux souterraines sur la température de la nappe phréatique et qui repose sur des données primaires.

Le MGDM du canton de Vaud en est un bon exemple : il rassemble des données primaires telles que les forages et les profils sismiques avec des données secondaires ainsi que des informations juridiques (p. ex. concessions) dans un modèle étendu et a ainsi servi de base au MGDM schématique présenté au chapitre 4.

Il n'existe actuellement aucun modèle de données harmonisé au niveau national pour la géothermie ou l'exploitation de la chaleur.

5.1.7. Autres applications des géodonnées du sous-sol

Pour d'autres domaines d'application (p. ex. sites contaminés, archéologie, matières premières), seuls quelques modèles de données ont été signalés, le plus souvent sous forme de cadastres comme l'exploitation des matières premières (FR) ou de cartes thématiques.

Il existe des modèles de données uniformes, notamment pour les sites contaminés tels que

- la carte indicative des pollutions des sols (HKB)
- Cadastre des sites pollués (ID 114, 116, 117, 118, 119)

5.2. Géodonnées relatives aux infrastructures anthropiques du sous-sol

Les géodonnées relatives aux infrastructures anthropiques du sous-sol n'ont été mentionnées que de manière sporadique, car elles ne sont souvent pas considérées comme des géodonnées classiques sur le sous-sol et sont fréquemment gérées par d'autres services spécialisés.

Elles sont néanmoins pertinentes pour les futurs modèles souterrains 3D intégrés et leur intégration devrait avoir lieu à un stade précoce afin d'éviter la création ultérieure de structures parallèles.

Conduites et cadastre des conduites

Plusieurs cantons se réfèrent à la norme SIA 405 pour l'échange de données sur les conduites de service, ainsi qu'aux modèles de données de l'Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA).

D'autres modèles sont en outre en cours de consultation, par exemple :

- le modèle de données « Informations sur les réseaux d'eau » de la SVGW (association professionnelle des distributeurs de gaz, d'eau et de chaleur à distance)
- Introduction prévue d'un cadastre national des conduites (CCCH)

Ouvrages et infrastructures

Aucun modèle de données spécifique n'a été signalé pour les ouvrages (par exemple les tunnels ou les parkings), car ceux-ci ne sont généralement pas enregistrés séparément de l'infrastructure normale.

Par ailleurs, il a été souligné à plusieurs reprises que la plupart des données primaires sont générées dans le cadre de projets de construction et se trouvent souvent dans les bureaux d'ingénieurs et de géologues privés.

5.3. Analyse

Les données sont présentées sous forme de matrice dans le tableau 2. Dans l'ensemble, l'analyse montre que la plupart des géodonnées du sous-sol existantes reposent sur des données secondaires (p. ex. cartes, modèles ou bases de planification). Celles-ci se présentent souvent uniquement sous forme de couches SIG, sans que les modèles de données sous-jacents ne soient visibles. De ce fait, les données ne sont souvent pas reliées aux données primaires correspondantes, ce qui limite considérablement leur traçabilité et leur réutilisabilité.

Dans les domaines de la géologie, de la géotechnique et, en partie, de la géophysique, les données primaires sont certes généralement collectées au niveau cantonal, mais souvent de manière interdisciplinaire, sans description claire de la méthodologie de mesure. De plus, les données proprement dites ne sont souvent disponibles que sous forme de rapports ou de documents PDF et ne peuvent donc pas être exploitées de manière structurée. De plus, il existe ici des chevauchements avec les plateformes développées par Swisstopo, assets.swissgeol.ch et la saisie structurée des données pour les forages (<https://boreholes.swissgeol.ch/>).

Pour certains domaines spécialisés, notamment les eaux souterraines et la pédologie, il existe déjà des MGDM nationaux pour la saisie des données primaires. Les nouveaux modèles minimaux nationaux devraient donc s'appuyer sur ces approches existantes afin de garantir la cohérence et l'interopérabilité. Parallèlement, il est important que les géodonnées relatives aux

infrastructures anthropiques du sous-sol soient également saisies à l'avenir selon des principes comparables.

Les MGDM de la Confédération (OFEV) sont généralement repris par les cantons. Les extensions et adaptations cantonales ne semblent pas, pour autant que l'on puisse en juger, nuire de manière significative à l'interopérabilité, mais elles conduisent parfois à des niveaux de détail différents.

Les chevauchements potentiels apparaissent particulièrement clairement dans le cadre de problématiques liées à l'application : les données issues de forages peuvent être utilisées simultanément pour l'exploration géologique, la gestion des eaux souterraines, l'exploitation géothermique et la planification géotechnique. À l'heure actuelle, il n'existe toutefois pratiquement pas de modèles de données globaux qui représentent systématiquement les géodonnées du sous-sol, depuis les données primaires jusqu'aux données et informations secondaires en passant par l'interprétation (comme le montre schématiquement la figure 3 pour les données géologiques). En conséquence, les chevauchements modélisés sont actuellement limités.

Dans l'ensemble, il apparaît que les chevauchements existants constituent moins un problème qu'un potentiel considérable. Ils montrent clairement qu'une harmonisation au niveau des données primaires est possible et judicieuse. Cela suppose l'élaboration de modèles minimaux uniformes et interdisciplinaires, qui servent de base commune à différentes applications et permettent d'éviter les doublons.

Des exemples positifs montrent toutefois des approches possibles :

- le modèle géothermique profond MGDM du canton de Vaud (lien entre données de mesure, interprétation et utilisation)
- le modèle des eaux souterraines de l'OFEV, actuellement en cours de développement (intégration de différents niveaux de données)
- la base de données sur les forages de swissgeol, en particulier avec les données du canton de Thurgovie

Les modélisations 2D/3D existantes pour la géologie et les eaux souterraines montrent également ce qu'il est possible de réaliser avec des données primaires bien structurées.

Langage des données et modélisation

La plupart des représentations existantes de géodonnées du sous-sol dans les navigateurs SIG sont soit basées sur des points (données de mesure), soit mises en œuvre sous forme de surfaces 2D (cartes). Souvent, aucune documentation explicite du modèle n'est visible ; les données sont plutôt disponibles sous forme de fichiers SHP ou DXF. Les modèles de données existants sont en outre fréquemment définis en INTERLIS.

Cependant, le sous-sol étant intrinsèquement tridimensionnel, la représentation en 2D entraîne des pertes d'informations. La question se pose donc de savoir si INTERLIS est suffisant à lui seul ou si des approches complémentaires (par exemple BIM/IFC ou des modèles de données 3D) devraient être prises en compte à l'avenir.

5.4. Résumé

Au niveau fédéral, il existe des MGDM bien établis, notamment dans le domaine des eaux souterraines, qui constituent une base importante pour l'harmonisation. Au niveau cantonal, il existe une multitude de modèles, souvent sous forme d'extensions ou de modèles spécialisés autonomes.

L'analyse montre que, bien qu'il existe de nombreux modèles, ceux-ci ne sont généralement pas harmonisés et que les données primaires ne sont souvent pas saisies de manière standardisée. Des applications telles que la géothermie ou les études de sol nécessitent toutefois une intégration interdisciplinaire.

Il en résulte un besoin d'action clair : il faut un MGDM standardisé pour les données primaires, servant de base commune et pouvant être étendu de manière flexible.

Le paysage des modèles existants comporte de nombreuses approches précieuses, mais il manque une coordination globale. L'absence de normalisation des données primaires ainsi que l'incohérence de la structuration entre les domaines spécialisés et les niveaux administratifs constituent notamment des défis majeurs.

Pour la suite du développement, il est essentiel de définir des modèles minimaux et interopérables qui permettent une utilisation cohérente des géodonnées du sous-sol au-delà des frontières institutionnelles et disciplinaires.

6. AP4 – Vision, définition des principes stratégiques, des objectifs et des mécanismes de mise en œuvre

6.1. Vision 2035 : le sous-sol transparent, un bien commun

La vision

Le sous-sol est aménagé de manière proactive et coordonnée ; il n'est plus une « boîte noire », mais un jumeau numérique de la croûte terrestre, visible, compréhensible et utilisable par tous. Notre objectif est de mettre en place une infrastructure de géodonnées homogène à l'échelle nationale, issue d'une collaboration contraignante entre la Confédération et les cantons, qui garantisse le sous-sol en tant que ressource essentielle pour un développement durable.

Les piliers de notre stratégie :

Conditions-cadres générales

L'utilisation du sous-sol doit s'orienter vers la protection de l'environnement et des ressources naturelles. Elle repose notamment sur les principes de précaution et de durabilité, ainsi que sur le mandat constitutionnel de protection des ressources naturelles. La protection des sols, des

eaux souterraines et des structures géologiques doit donc être prise en compte en priorité lors de la planification et de l'utilisation du sous-sol. Un recensement et une utilisation systématiques des géodonnées favorisent une prise de décision respectueuse de l'environnement et durable à long terme.

L'exhaustivité par l'obligation

La collecte exhaustive des données est le fondement de notre vision. Nous instaurons une culture de la transmission obligatoire des données, dans laquelle chaque projet d'exploration du sous-sol fournit ses données primaires à une plateforme centrale, conformément à une obligation légale. Cela garantit qu'aucune connaissance précieuse ne se perdra plus et que le patrimoine de connaissances de la Suisse ne cessera de s'enrichir.

Uniformité grâce aux normes

Afin que les données provenant de différentes sources et de différents cantons puissent être regroupées, nous misons sur un modèle de données minimal uniforme et intercantonal. Grâce à des formats d'échange standardisés, nous brisons les silos de données et garantissons que les informations géologiques et géotechniques sont techniquement interopérables et réutilisables à long terme. Le sous-sol devient ainsi une source de référence unique et cohérente.

L'accessibilité en tant que service Notre devise est :

« Public autant que possible, protégé autant que nécessaire ». Les données primaires sur le sous-sol sont rendues librement accessibles en tant que bien public, tout en préservant bien entendu la protection des données et les intérêts en matière de sécurité. Nous transformons les géodonnées brutes en services de données stables (Data as a Service) de haute qualité, mis à la disposition des urbanistes, des ingénieurs, des chercheurs et de la population selon des conditions d'utilisation claires.

Responsabilité partagée :

Cette vision ne se concrétise pas d'elle-même. Elle repose sur un nouveau partenariat entre la Confédération et les cantons. Les cantons assument la coresponsabilité financière de l'exploitation et du développement de l'infrastructure, tandis que la Confédération assure la coordination politique et la montée en charge. Ce partage des charges permet une solution harmonisée dont les effets dépassent la somme des contributions individuelles.

Harmonisation :

Les différentes disciplines actives dans le domaine souterrain, telles que la pédologie, la géologie, l'hydrologie et l'aménagement du territoire, mais aussi les services responsables des infrastructures souterraines anthropiques, s'accordent sur des concepts clairs ainsi que sur leur délimitation mutuelle et leurs compétences respectives. La notion juridique « dans la mesure où l'intérêt à l'exercer l'exige » est concrétisée au moins de manière à permettre de trouver une base commune pour les modèles de données correspondants.

Cette stratégie rend le sous-sol planifiable. Elle permet de réduire les risques liés aux projets de construction, de promouvoir l'utilisation efficace des ressources (par exemple la géothermie ou les espaces de stockage) et de créer une base transparente pour les décisions qui concernent les générations futures. Le sous-sol passe ainsi du statut d'obstacle méconnu à celui de fondement que nous pouvons aménager pour l'avenir.

6.2. Définition de principes directeurs pour la gestion et l'utilisation des géodonnées du sous-sol :

1. Définition du sous-sol

Ensemble des couches de la croûte terrestre situées sous la surface de la Terre. (Ce point mérite d'être approfondi dans une prochaine étude.)

2. Obligation de transmission des données

Tous les projets qui collectent des géodonnées du sous-sol sont tenus de transmettre ces données primaires à une plateforme centrale – cette obligation est inscrite dans la loi et applicable.

3. Accès public

Les données primaires sur le sous-sol sont en principe publiques et librement accessibles à tous les utilisateurs – sous réserve des exceptions prévues par la législation en matière de protection des données et de sécurité.

4. Formats d'échange standardisés

Des normes techniques et des formats d'échange contraignants sont définis afin de garantir l'interopérabilité et la réutilisabilité.

5. Données en tant que service

Les géodonnées sont proposées sous forme de service, avec des conditions d'utilisation claires et une stabilité technique garantie.

6. Modèle de géodonnées minimal uniforme (MGDM)

Un modèle de données commun minimal et intercantonal pour les données géologiques et géotechniques est défini et mis en œuvre de manière contraignante.

7. Responsabilité financière partagée entre la Confédération et les cantons

La Confédération et les cantons s'accordent sur un modèle de financement commun pour le développement et l'exploitation d'une infrastructure de géodonnées commune et interopérable.

8. Soutien et coordination de la Confédération

La Confédération soutient et supervise la coordination visant à harmoniser le cadre juridique ainsi que la terminologie et la montée en charge de l'infrastructure.

Remarque : la Confédération exerce déjà une mission de coordination et dispose à ce titre de certaines compétences. Une compétence d'exécution complète en matière de remise des données devrait toutefois être mise en œuvre à plusieurs niveaux et reposer sur différentes bases légales, notamment la LGéo. La définition d'une procédure détaillée dépasse le cadre de la présente étude et devrait faire l'objet d'un examen distinct, sur la base d'un MGDM clairement défini.

6.3. Stratégie et mise en œuvre progressive

La stratégie proposée et son plan de mise en œuvre par étapes visent à réaliser la vision « Sous-sol transparent ». Le plan intègre quatre dimensions : technique, juridique, organisationnelle et financière.

Stratégie : « SwissSubsurface One » – La plateforme intégrée du sous-sol

Objectif stratégique : mettre en place d'ici 2030 (?) une infrastructure nationale de géodonnées interopérable, représentant le sous-sol sous la forme d'un jumeau numérique, juridiquement garantie et financée conjointement par un partenariat public-privé entre la Confédération et les cantons.

Principes fondamentaux :

1. **Centralisation de la mise à disposition des données, décentralisation des responsabilités** : une plateforme technique pour tous, mais souveraineté sur les données et gestion incombant aux producteurs/cantons.
2. **Principe « Once-Only »** : les données sont collectées une seule fois et utilisées à de multiples fins.
3. **Ouverture par défaut** : transparence maximale en standard, restriction uniquement en cas de nécessité avérée.

6.4. Plan de mise en œuvre en 4 phases

Phase 1 : Fondements et cadre juridique (années 1–2)

Objectif : créer une obligation légale et mettre en place des structures organisationnelles.

Dimension	Mesures
Juridique	• Révision législative : inscription de l'obligation de communication des données (6.2. Principe directeur 2) dans la loi sur l'aménagement du territoire et la géologie, ainsi que dans la loi sur la géoinformation (communication des nouveaux forages). Définition des sanctions en cas de non-communication. La compétence en matière de coordination devra, le cas échéant, être obtenue par une modification constitutionnelle. • Concept de protection des données : définition juridique des exceptions à l'accès public (principe directeur 3), en particulier pour les infrastructures sensibles ou les forages privés. • Conditions d'utilisation : élaboration de contrats de licence standardisés (licences Open Data) pour l'approche « données en tant que service ».
Organisationnel	• Comité de pilotage : création d'un organe composé de représentants de la Confédération (OFEV/OFAG/Swisstopo) et des cantons pour le pilotage stratégique.

Dimension	Mesures
	• Modèle de financement : signature des concordats relatifs à la coresponsabilité financière des cantons (principe directeur 7) et garantie du soutien de la Confédération (principe directeur 8). • Définition du modèle minimal : mise en place d'un groupe de travail technique chargé d'élaborer le modèle de données uniforme (principe directeur 6).
Technique	• Conception de l'architecture : choix de l'architecture de la plateforme en tenant compte des plateformes existantes, par exemple Swissgeo (basée sur le cloud, hébergée en Suisse). • Normalisation : définition des formats d'échange (par exemple IFC pour la géologie, CityGML, normes OGC) conformément au principe directeur 4.
Financier	• Financement initial par la Confédération et les cantons pour la phase de mise en place. • Définition de la clé de répartition des contributions cantonales (p. ex. en fonction de la population ou de l'intensité d'utilisation du sous-sol).

Phase 2 : Développement technique et pilotage (années 2–3)

Objectif : construction de la plateforme et test en conditions réelles.

Dimension	Mesures
Technique	• Développement de la plateforme : mise en place de la base de données centrale et des API pour le service de données, en tenant compte des plateformes existantes, par exemple Swissgeo (Principe directeur 5). Mise en œuvre d'outils de validation pour les formats de saisie. • Tests d'interopérabilité : s'assurer que le modèle de données uniforme (principe directeur 6) peut être reproduit dans les systèmes cantonaux existants. (à définir comment cela peut être mis en œuvre) • Sécurité : mise en œuvre de contrôles d'accès (Role-Based Access Control) pour les domaines de données sensibles.
Organisationnel	• Cantons pilotes : sélection de 2 à 3 cantons pilotes présentant une complexité géologique différente. • Formation : formation de « gestionnaires de données » au sein des services cantonaux et des bureaux d'études privés pour un traitement correct des données. (en fonction de la disponibilité du personnel dans les cantons)

Dimension	Mesures
Sur le plan juridique	• Test de l'applicabilité : mise en œuvre de la nouvelle procédure de déclaration dans le cadre du projet pilote ; renforcement des ordonnances en cas d'obstacles pratiques.
Financier	• Coûts d'investissement pour le développement de logiciels et l'infrastructure matérielle. • Premières contributions régulières des cantons pilotes.

Phase 3 : Déploiement et migration (années 3 à 5)

Objectif : mise en place à l'échelle nationale et transfert des données historiques.

Dimension	Mesures
Organisationnel	• Déploiement national : mise en service progressive dans tous les cantons. • Migration des données historiques : grand projet de numérisation et d'harmonisation des archives papier historiques et des anciens fonds numériques selon le nouveau modèle minimal. (à vérifier si cela est souhaité par les cantons et réalisable)
Technique	• Évolutivité : extension des capacités des serveurs et des bandes passantes pour l'accès public (principe directeur 3). • Extension optionnelle des services : mise à disposition d'outils d'analyse et de visualisations 3D directement sur la plateforme (services à valeur ajoutée). (Swiss-topo a consacré d'énormes efforts à viewer.swissgeol.ch, qui n'a jusqu'à présent apporté qu'une utilité limitée)
Juridique	• Application : application systématique de l'obligation de remise des données dans toutes les nouvelles procédures d'autorisation. Pas de permis de construire sans vérification et validation des données.
Financière	• Passage au budget de fonctionnement ordinaire (Confédération + cantons). • Le cas échéant, introduction de redevances pour les services commerciaux premium (tandis que les données de base restent gratuites).

Phase 4 : Exploitation et écosystème (à partir de la 5e année)

Priorité : durabilité et innovation.

Dimension	Mesures
Technique	• IA et automatisation : utilisation de l'IA pour le contrôle qualité automatique des données entrantes et pour la génération de modèles 3D à partir de données 2D. • Données en temps réel : connexion de réseaux de capteurs (eaux souterraines, sismicité) sous forme de flux en direct.
Organisation	• Gestion de la communauté : mise en place d'un comité consultatif composé d'acteurs de l'industrie, du monde scientifique et des autorités pour le développement des services. • Échanges internationaux : harmonisation avec les pays voisins (DE, FR, IT, AT) pour des projets souterrains transfrontaliers.
Financière	• Garantie à long terme des coûts d'exploitation grâce au système de péréquation financière en place. • Analyse coûts-bénéfices pour optimiser les contributions.

6.5. Facteurs critiques de succès et risques

1. Obstacle technique (le « problème des anciennes données ») :

- *Risque* : les données historiques sont disponibles dans des formats incompatibles.
- *Solution* : budget dédié aux prestataires de services de numérisation et développement d'outils d'IA pour la conversion automatique.

2. Opposition juridique (souveraineté des données) :

- *Risque* : les cantons ou les acteurs privés s'opposent à l'obligation de remise centralisée. De plus, la Confédération ne dispose pas actuellement du cadre juridique nécessaire pour assumer une mission de coordination.
- *Solution* : communication claire de la valeur ajoutée (« les données en tant que service » déchargent les cantons de la gestion de leur propre infrastructure) et lien juridique avec les procédures d'autorisation existantes (effet de levier). (Remarque de Swisstopo : cela ne devrait probablement pas suffire auprès de CHGEOL, de l'Association des propriétaires fonciers et de Bauen Schweiz, car ces organisations continuent de suivre attentivement la question et disposent d'un bon réseau politique.)

3. Viabilité financière :

- *Risque* : les cantons réduisent leurs contributions après la phase de mise en place.
- *Solution* : accords de financement à long terme fixés par contrat (concordat) avec des clauses de sortie qui entraîneraient des coûts élevés. (Remarque de Swisstopo : les cantons vont-ils s'engager dans cette voie, alors que le sous-sol ne fait pas partie de leurs priorités ?)

4. Acceptation organisationnelle :

- *Risque* : les utilisateurs n'adoptent pas la plateforme car elle est trop complexe.
- *Solution* : s'aligner strictement sur le principe du « parcours utilisateur ». La plateforme doit être plus simple à utiliser que le système de stockage local de l'utilisateur.

Cette stratégie transforme les principes directeurs de simples exigences théoriques en une feuille de route opérationnelle qui fait de la Suisse un pionnier dans la gestion numérique du sous-sol.

La mise en œuvre de la stratégie « SwissSubsurface One » nécessite des ressources considérables dans les quatre domaines suivants : ressources humaines, finances, technique et cadre juridique et organisationnel. En voici une ventilation détaillée :

1. Ressources humaines (capital humain)

Le succès dépend d'équipes interdisciplinaires qui maîtrisent à la fois le domaine (géologie), la technologie et le droit.

- **Gestion de projet et gouvernance :**
 - **Direction du projet (PL)** : 1 à 2 chefs de projet seniors ayant de l'expérience dans les grands projets d'administration en ligne.
 - **Comité de pilotage** : représentants de la Confédération (OFEV, swisstopo), des cantons (géologie/informatique), des associations (SGI, SIA) et du secteur privé.
 - **Responsables du changement** : spécialistes de la mise en place de nouveaux processus au sein des autorités et des bureaux d'études.
- **Domaine technique (géologie/géotechnique) :**
 - **Architectes de données (géologie)** : experts chargés de définir et de maintenir le **modèle de données uniforme** (principe directeur 6).
 - **Gestionnaires de données géologiques** : chargés du **contrôle qualité des données entrantes** et de la **définition des normes de métadonnées**.

- **Technologie et développement :**

- **Architectes système :** conception de l'infrastructure cloud (calcul haute performance pour les modèles 3D).
- **Développeurs backend :** mise en place des API, des outils de validation et des pipelines ETL (Extract, Transform, Load).
- **Concepteurs front-end/UX :** développement d'une plateforme conviviale pour l'accès public (principe 3).
- **Data scientists/experts en IA :** pour l'automatisation de l'harmonisation des données (en particulier pour les données héritées) et l'interpolation 3D.
- **DevOps/administrateurs système :** exploitation de l'infrastructure (par exemple sur un cloud souverain tel qu'Infomaniak Public Cloud ou une solution publique).

- **Droit et conformité :**

- **Juristes (droit public) :** élaboration des bases légales relatives à l'obligation de remise des données.
- **Délégués à la protection des données :** garantie de la conformité pour les données sensibles (LPD).

2. Ressources financières

Les coûts se répartissent entre la mise en place (CAPEX) et l'exploitation (OPEX). Conformément aux principes directeurs 7 et 8, la Confédération et les cantons en assument la majeure partie.

- **Coûts de mise en place (années 1 à 3) :**

- **Développement de logiciels :** estimation de 5 à 10 millions de francs (plateforme, API, outils de validation).
- **Législation et consultation :** 0,5 à 1 million de CHF (consultations, commissions d'experts).
- **Numérisation des données existantes :** le poste de dépenses le plus important. Estimation : 10 à 20 millions de francs (en fonction du volume des données de forage historiques conservées dans les archives).
- **Matériel/infrastructure :** investissement initial dans des serveurs/du stockage ou la mise en place d'un environnement cloud.

- **Coûts d'exploitation (annuels à partir de la 4e année) :**
 - **Exploitation de l'infrastructure :** coûts du cloud (stockage, calcul, bande passante), maintenance, audits de sécurité.
 - **Personnel :** postes permanents pour l'exploitation, le support et le développement (environ 10 à 15 ETP).
 - **Marketing et formation :** formation continue des utilisateurs et des fournisseurs de données.
- **Sources de financement :**
 - Subventions fédérales (aides financières pour les infrastructures numériques).
 - Subventions cantonales (pourcentage fixe ou selon une clé de répartition).
 - Le cas échéant, redevances pour des services commerciaux premium (p. ex. modèles 3D haute résolution pour les grands projets), tandis que les données de base restent gratuites.

3. Ressources techniques

L'infrastructure doit être hautement évolutive, sécurisée et interopérable.

- **Puissance de calcul et stockage (cloud/sur site) :**
 - **Stockage de masse :** stockage objet à l'échelle du pétaoctet (compatible S3) pour les données brutes (profils de forage, géophysique, scans).
 - **Calcul haute performance (HPC) :** cluster de GPU pour le calcul en temps réel de modèles souterrains en 3D.
 - **Systèmes de bases de données :** bases de données spatiales spécialisées (par ex. PostGIS) et bases de données NoSQL pour les métadonnées.
 - **Hébergement :** une infrastructure souveraine en Suisse (par exemple, Infomaniak Public Cloud ou un cloud public) afin de garantir la souveraineté des données.
- **Logiciels et normes :**
 - **Outils ETL :** pipelines automatisés pour la conversion de différents formats (DXF, PDF, Excel, GML) vers le **modèle minimal uniforme**.
 - **Moteur de validation :** logiciel qui vérifie, lors du téléchargement, si les données sont conformes aux normes techniques (principe 4).
 - **Passerelle API :** interfaces sécurisées pour la récupération automatique des données (Data as a Service).

- **Moteur de visualisation** : visionneuses 3D en ligne (par exemple basées sur CesiumJS ou un logiciel similaire) pour un accès via un navigateur.
- **Sécurité** :
 - Gestion des identités et des accès (IAM) pour des droits d'accès différenciés (public vs. administration vs. privé).
 - Chiffrement (en transit et au repos).
 - Stratégie de sauvegarde et de reprise après sinistre (géographiquement redondante).

4. Ressources juridiques et organisationnelles

Sans base juridique et sans ancrage organisationnel, la plateforme reste une coquille vide.

- **Instruments juridiques** :
 - **Harmonisation** : toutes les nouvelles données à saisir sont harmonisées à l'échelle cantonale à l'aide de termes uniformes. Une distinction claire est établie entre les géodonnées du sous-sol et les géodonnées de surface.
 - **Révision législative** : adaptation des lois cantonales sur la construction ou adoption d'une nouvelle loi sur la géologie au niveau fédéral.
 - **Ordonnances** : définition concrète des données soumises à l'obligation de transmission, des délais et des formats.
 - **Contrats** : contrats de fourniture de données pour les particuliers et les concessionnaires ; accords de prestations intercantonaux (concordat).
 - **Modèles de licence** : licences Creative Commons ou Open Data pour la partie publique ; licences individuelles pour les domaines protégés.
- **Structures organisationnelles** :
 - **Organisation opérationnelle** : une structure de gestion claire (par exemple, une association Confédération-cantons ou un service existant tel que swisstopo).
 - **Structure d'assistance** : service d'assistance pour les fournisseurs de données (bureaux d'études) et les utilisateurs de données.
 - **Comité d'assurance qualité** : instance chargée de trancher en cas de conflits relatifs aux données ou de défauts de qualité.
 - **Réseau de « gestionnaires de données »** : interlocuteurs dans chaque canton et au sein des grands bureaux d'études.

Résumé des ressources les plus critiques

Le principal obstacle n'est souvent pas la technologie, mais la **coordination et la migration des anciennes données**.

1. **Volonté politique** : pour faire respecter l'obligation légale de transmission des données face aux résistances.
2. **Financement des données existantes** : la numérisation de plus de 50 ans d'archives papier est un travail fastidieux et coûteux.
3. **Confiance** : la volonté des cantons de céder la souveraineté des données à une plateforme centrale nécessite des structures de gouvernance solides.

Une **mise en place progressive** (comme esquissée dans le plan de mise en œuvre) avec des cantons pilotes permet de regrouper et d'utiliser efficacement ces ressources avant le déploiement à l'échelle nationale.

6.6. Normes, standards techniques et protocoles pertinents

Pour les données SIG, ce sont surtout les normes de **la série ISO 19100** (Information géographique / Géomatique) qui sont pertinentes au niveau international. Elles sont élaborées par le Comité technique de l'Organisation internationale de normalisation (**ISO/TC 211**) et constituent la famille centrale de normes pour les modèles de données géographiques, les métadonnées, les services, la qualité et l'interopérabilité.

Les normes les plus importantes sont brièvement résumées ci-dessous. Toutes les normes pertinentes sont répertoriées et brièvement expliquées en annexe.

6.6.1. Normes internationales SIG (série ISO 19100)

En matière de géodonnées, ce sont surtout les normes de **la série ISO 19100** qui sont pertinentes au niveau international. Celles-ci définissent des modèles fondamentaux et des exigences techniques pour l'information géographique. Sur le plan du contenu, elles peuvent être classées en quelques domaines thématiques centraux. Une liste détaillée figure en annexe :

Modélisation des géodonnées et structures d'objets (par exemple ISO 19101, 19103, 19109)

Régissent la modélisation conceptuelle des géodonnées et leur structure.

Géométrie et systèmes de référence (par exemple ISO 19107, 19111)

Définissent les modèles géométriques ainsi que les systèmes de coordonnées et de référence.

Dimension temporelle des données géographiques (par exemple, ISO 19108)

Description des aspects temporels et des versions.

Métadonnées et qualité des données (par exemple, ISO 19115, 19157)

Normes relatives à la documentation, à la provenance, à la précision et à la qualité des données géographiques.

Services géographiques et échange de données (par exemple ISO 19119, 19136)

Réglementent l'interopérabilité, les services web et les formats d'échange.

Aperçu des normes ISO pertinentes

La série ISO 19100 couvre les domaines clés suivants :

Domaine	Normes pertinentes
Modélisation	19101, 19103, 19109
Géométrie et SRC	19107, 19111
Temps	19108
Métadonnées	19115, 19139
Qualité	19157
Services	19119, 19128
Échange	19118, 19136
Cadastré	19152

Les normes suivantes sont particulièrement importantes pour les géodonnées du sous-sol :

- **ISO 19107** (géométrie 3D),
- **ISO 19108** (dimension temporelle),
- **ISO 19111** (systèmes de référence de profondeur),
- **ISO 19115 / 19157** (métadonnées et qualité),
- **ISO 19152** (droits sur le sous-sol).

6.6.2. Normes et standards suisses relatifs au SIG

La normalisation SIG en Suisse repose sur plusieurs niveaux :

Bases légales fédérales

LGéo (loi fédérale sur la géoinformation)

OGéo (ordonnance sur la géoinformation)

> Cadre juridique pour la collecte, la mise à jour et la mise à disposition des géodonnées officielles.

Normes de cyberadministration (eCH)

- > eCH-0018 – Règles de modélisation pour les géodonnées
- > eCH-0056 – Format d'échange pour les géodonnées
- > eCH-0166 – Catalogues de métadonnées

Spécifications techniques de swisstopo

- > Systèmes de référence (LV95, CH1903+), modèles minimaux pour les géodonnées de base et les géodonnées 3D.

Mensuration officielle (MO)

- > Modèle de données DM01-MO et exigences de qualité pour les données cadastrales et de référence.

Normes SIA ayant une pertinence indirecte pour les SIG (p. ex. SIA 118, SIA 267, SIA 405)

- > Concernent les sols à bâtir, la géotechnique et le cadastre des réseaux.

Dans l'ensemble, la normalisation SIG suisse se compose ainsi de normes juridiques, de normes de cyberadministration, de directives techniques fédérales et de normes ISO internationales.

6.6.3. Synthèse systématique des normes et standards

La normalisation SIG suisse comprend :

1. des normes juridiques (LGéo/OGéo)
2. des standards eCH (modélisation et échange)
3. Directives de swisstopo (mise en œuvre technique)
4. Prescriptions de la mensuration officielle (référence et propriété)
5. Normes ISO adoptées sous la forme SN EN ISO

Particulièrement pertinent pour la stratégie relative au sous-sol :

- Normes de modélisation eCH
- Systèmes de référence 3D (LV95, modèles altimétriques)
- Modèle de données AV (référence de propriété)
- Modèles de géodonnées minimaux selon l'OGéo
- Exigences de qualité conformes à la norme ISO 19157

Pour les données du sous-sol, **la géométrie 3D, les systèmes de référence, les métadonnées et les normes de qualité** revêtent une importance particulière.

6.7. Protocoles SIG pertinents

Dans le domaine des SIG, les protocoles techniques jouent un rôle central. Ils régissent la manière dont les géodonnées sont mises à disposition, consultées, transmises et traitées via les

réseaux. Alors que les normes ISO définissent plutôt des modèles conceptuels, les protocoles techniques concernent la communication pratique entre les systèmes (interopérabilité).

Au niveau international, ces normes sont principalement élaborées par l'Open Geospatial Consortium (OGC).

Voici les principaux protocoles pertinents pour les SIG :

Services de visualisation et de cartographie

WMS – Web Map Service

Fournit des images cartographiques rendues (PNG, JPEG).
Le client demande une couche → le serveur fournit l'image.
Pas de données brutes, uniquement de la visualisation.
Standard dans les géoportails (p. ex. portails SIG cantonaux).

Services de données vectorielles

WFS – Web Feature Service

Transmet des objets vectoriels (points, lignes, surfaces).
Permet d'effectuer des requêtes, de filtrer et, dans certains cas, de modifier les données.
Fournit des géodonnées structurées (généralement au format GML ou GeoJSON).

Services raster et de couverture

WCS – Web Coverage Service

Transmet des données raster avec des valeurs mesurées (par exemple, modèles altimétriques, champs de température).
Contrairement au WMS, il fournit des données brutes.

Services de catalogue

CSW – Catalogue Service for the Web
Sert à la recherche de métadonnées.
Base pour les catalogues de géodonnées.

Normes API modernes (OGC API)

La nouvelle génération remplace les services Web XML classiques par des API basées sur REST :

OGC API – Features
Successeur du WFS
Basé sur JSON/REST
Compatible avec le cloud et le Web

OGC API – Tiles

Pour les services cartographiques en tuiles (cartographie Web)

OGC API – Coverages

Variante moderne du WCS

Formats d'échange (proches du protocole)

GML (Geography Markup Language)

Format d'échange basé sur XML

Très proche des normes ISO et OGC

GeoJSON

Format basé sur JSON

Très répandu sur le Web

Protocoles d'infrastructure (base technique)

Les services SIG reposent sur :

HTTP / HTTPS

REST

SOAP (services plus anciens)

XML / JSON

Intégration spécifique à la Suisse

En Suisse :

L'OGéo exige la mise à disposition via des géoservices standardisés.

swisstopo exploite des services conformes aux normes OGC.

Les normes eCH définissent les formats d'échange.

Pertinence pour la stratégie relative au sous-sol

Les protocoles techniques sont déterminants pour :

l'interopérabilité entre les cantons

l'intégration dans l'infrastructure nationale de données géographiques

l'accès en temps réel aux modèles 3D

l'harmonisation des géodonnées du sous-sol

En particulier pour les données 3D et les données de profondeur, la question se pose de savoir si les structures WMS/WFS classiques suffisent ou si des API OGC plus modernes sont nécessaires.

6.8. Prise en compte des cadres réglementaires nationaux et internationaux existants

Le cadre juridique régissant la collecte, la gestion et la mise à disposition des géodonnées en Suisse est principalement défini par la loi fédérale sur la géoinformation (LGéo) ainsi que par l'ordonnance sur la géoinformation (OGéo) qui s'y rapporte. Celles-ci constituent la base de la mise en place et de l'exploitation de l'Infrastructure nationale de données géographiques (INDG) et régissent la collaboration entre la Confédération, les cantons et les communes dans le domaine de la géoinformation. Elles déterminent quelles géodonnées de base présentent un intérêt national, quelles autorités sont responsables de leur collecte et de leur mise à jour, et quelles sont les exigences en matière de modèles de données, de métadonnées, de qualité des données et d'accès aux données. L'objectif de ces réglementations est de rendre les géodonnées actuelles, fiables et aussi facilement accessibles que possible à l'administration, à l'économie et au public.

Les prescriptions légales sont complétées par des normes techniques et des directives. À cet égard, tant les normes nationales – issues notamment du système de normalisation eCH – que les normes internationales jouent un rôle important. La série de normes ISO 19100 dans le domaine de l'information géographique ainsi que les spécifications techniques de l'Open Geospatial Consortium (OGC) définissent notamment les exigences fondamentales relatives aux modèles de données, aux métadonnées et aux géoservices, et contribuent de manière significative à l'interopérabilité des géodonnées.

Les développements internationaux influencent également la conception de l'infrastructure de géodonnées suisse. Bien que la Suisse ne soit pas membre de l'Union européenne, de nombreuses spécifications techniques et modèles de données s'inspirent de la directive européenne INSPIRE, qui vise à mettre en place une infrastructure de données géographiques interopérable à l'échelle européenne. Cette orientation facilite notamment l'utilisation transfrontalière des données géographiques.

Malgré les bases légales fédérales, le système de collecte des géodonnées est fortement marqué par le fédéralisme. La collecte et la mise à jour concrètes de nombreuses géodonnées relèvent de la responsabilité des cantons et, en partie, des communes. Il en résulte donc des réglementations juridiques et organisationnelles différentes au niveau cantonal. Alors que certains cantons ont adopté leurs propres lois sur la géoinformation, la réglementation dans d'autres cantons repose sur des ordonnances individuelles ou des législations sectorielles. Cela conduit à un degré de réglementation et à une mise en œuvre organisationnelle parfois hétérogènes de la collecte des géodonnées.

Cette fragmentation est particulièrement visible dans le domaine des géodonnées du sous-sol, car les informations correspondantes sont souvent générées dans le cadre de différentes lois spécialisées, par exemple en matière de protection des eaux, d'extraction de matières premières ou de production d'énergie. De plus, en raison du droit cantonal des mines, la souveraineté sur de nombreuses ressources souterraines appartient aux cantons. Il en résulte globalement un cadre juridique qui, s'il définit les principes fondamentaux de l'infrastructure de géodonnées, voit toutefois sa mise en œuvre pratique marquée par la répartition fédérale des compétences et par les réglementations sectorielles.

7. Annexe

Des tableaux complémentaires et des documents supplémentaires figurent en annexe. Ils comprennent l'ensemble des présentations des séances de coordination avec le groupe d'accompagnement ainsi que la présentation de l'atelier intercantonal. Sont également inclus les travaux intermédiaires sur les lots de travaux, tels qu'ils ont été présentés lors des séances.

7.1. Réunion de lancement du 14 octobre 2025

Pages 1-9

7.2. Réunion avec la CGC et le groupe d'accompagnement du 21 novembre 2025 (AP1)

Pages 10-28

7.3. Recensement des études existantes (AP1)

Page 29

7.4. Réunion avec la CGC et le groupe d'accompagnement du 13 janvier 2026 (AP2)

Pages 30-70

7.5. Atelier intercantonal du 23 janvier 2026 (AP2 et AP3)

Pages 71-131

7.6. Réunion avec la CGC et le groupe d'accompagnement (AP3)

Pages 132-169

7.7. Modèles de données : figures 6 à 9

Pages 170-173

7.8. Annexe relative aux normes et standards (AP4)

Pages 174-180

7.9. Séance de clôture avec la CGC et le groupe d'accompagnement

Pages 181-221