



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de la défense,
de la protection de la population et des sports DDPS

Office fédéral de topographie swisstopo
Service géologique suisse

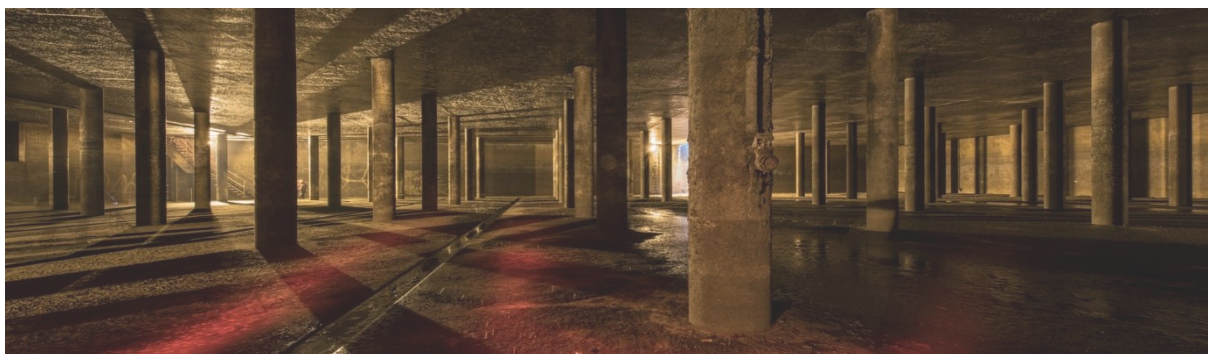
Rapport final du 30 avril 2024

Utilisation du sous-sol en Suisse :

Potentiels, conflits et réglementation nécessaire

Fabienne Sierro, Christian Meyer, Katrin Pakizer, Andreas Abegg

ZHAW School of Management and Law



© 2017 www.wopu-fotografie.de

Office fédéral de topographie swisstopo
Seftigenstrasse 264
3084 Wabern



School of
Management and Law

Date : 30.04.2024

Lieu : Berne

Subventionneur :

Office fédéral de topographie swisstopo
Seftigenstrasse 264
Case postale
3084 Wabern
<https://www.swisstopo.admin.ch/fr>

Bénéficiaire des subventions :

Haute école des sciences appliquées de Zurich (ZHAW)
School of Management and Law
Theaterstrasse 17, 8400 Winterthur
<https://www.zhaw.ch/de/sml/>

Autrices et auteurs :

Lots de travail 1 et 2 :

Fabienne Sierro, MA. Sciences de l'environnement, fabienne.sierro@zhaw.ch
Katrin Pakizer, Dr. sc. ETH Zurich. katrinmaria.pakizer@zhaw.ch

Lots de travail 3 et 4 :

Andreas Abegg, Prof. Dr. iur. LL.M., avocat, andreas.abegg@zhaw.ch
Christian Meyer, Dr. iur., avocat, christian.meyer@zhaw.ch

Accompagnement du projet chez swisstopo :

Nathalie Andenmatten Berthoud
Roland Baumberger

Numéro de contrat swisstopo : 5703006867

La responsabilité du contenu et des conclusions avancées incombe exclusivement aux autrices et auteurs de ce rapport.

Nous tenons à remercier les personnes interrogées de nous avoir accordé leur temps et d'avoir si volontiers partager leur savoir avec nous.

Zusammenfassung

Der Untergrund beherbergt eine grosse Vielfalt an Ressourcen, die für die Umwelt und das menschliche Leben elementar sind, wie beispielsweise Wasser, Wärme und verschiedenste Materialien. Angesichts der beschleunigten globalen Erwärmung, der Energiewende und einer stetig wachsenden Gesellschaft steigt das Interesse am Untergrund. Unterschiedliche Nutzungs- und Schutzansprüche können einander einerseits konkurrenzieren, andererseits aber auch positive Wechselwirkungen zwischen Technologien und Akteursgruppen hervorbringen. Bis heute sind solche Konflikt- und Synergiebeziehungen zwischen unterirdischen Ressourcen jedoch wenig untersucht worden. Die vorliegende Forschung verfolgt deshalb das Ziel, etablierte und zukünftige Untergrundnutzungen in der Schweiz zu identifizieren sowie ein Verständnis für (potenzielle) Konflikte und Synergien zwischen diesen Nutzungen zu schaffen. Zudem eruiert das Projekt das geltende Recht für wichtige Nutzungen im Untergrund und identifiziert regulatorischen Handlungsbedarf. Damit soll eine umfassende Grundlage zur Ausarbeitung eines nationalen Aktionsplans geschaffen werden (Kap. 1).

Arbeitspaket 1 erstellt eine systematische Übersicht zu bestehenden und zukünftigen Untergrundnutzungen. Anhand einer Webseitenanalyse der 26 Schweizer Kantone wurden 21 Nutzungen identifiziert. Diese Anzahl verdeutlicht, dass der Untergrund bereits heute auf unterschiedlichste Weise genutzt wird. Archäologische Untersuchungen, Deponien, Geomaterialienabbau, Grundwassernutzung, unterirdische Bauten und Verkehrsinfrastrukturen sowie unterirdische Leitungen und untiefe Geothermie sind in fast allen Kantonen etabliert. Einige Nutzungen sind hingegen stark standortabhängig, wie z. B. die Tiefenlagerung von nuklearen Abfällen und der unterirdische Gütertransport. Weitgehend etabliert sind schutzorientierte Nutzungen, wie Versickerung von Regenwasser und Grundwasserschutz zonen. Tiefengeothermie, Gas- und CO₂-Speicherung werden von der Hälfte der Kantone als zukünftige Nutzungen in Erwägung gezogen. Darüber hinaus zeigt die Webseitenanalyse auf, dass Nutzungen im Untergrund und damit verbundene Terminologien von Kanton zu Kanton stark variieren und somit die Schaffung einer Übersicht erschweren (Kap. 2.1).

Die Identifikation von Untergrundnutzungen dient als Grundlage für Arbeitspaket 2, welches Konflikt- und Synergiebeziehungen zwischen den Nutzungen analysiert. Hierzu wurden in den Kantonen Zürich, Aargau und Waadt Interviews mit Vertreterinnen und Vertretern der kantonalen Behörden, der Industrie und lokaler Verbände (N=18) durchgeführt. Basierend auf ihren Aussagen wurden mit Hilfe der Sozialen-Netzwerk-Analyse (SNA) Konflikt- und Synergienetzwerke erstellt und analysiert. Daraus geht hervor, dass Grundwasser die meisten Konflikte mit anderen Untergrundnutzungen aufweist, was auf die Grösse des Grundwasservorkommens, dessen Oberflächennähe und dessen Schutzstatus zurückzuführen ist. Unterirdische (Verkehrs-)Infrastrukturen zeigen am meisten Synergiepotenzial mit anderen Nutzungen auf (z. B. unterirdische Leitungen, Geothermie, Recycling von Geomaterialien, etc.). Potenzial besteht darin, mit Multifunktionalität, Mehrfachnutzung und zirkulärer Ressourcennutzung den Untergrund effizienter und nachhaltiger zu nutzen (Kap. 2.2).

Das Arbeitspaket 3 untersucht, wie die unterschiedlichen Untergrundnutzungen (AP1) sowie deren Konflikt- und Synergienetzwerke (AP2) von der bestehenden Regulierung erfasst werden. Grundsätzlich liegt es in der Kompetenz der Kantone, über «ihren» öffentlichen Untergrund zu bestimmen. Die untersuchten Kantone Zürich, Aargau und Waadt tun dies in erster Linie durch ihre kantonalen Untergrundgesetze. Allerdings verfügen zahlreiche Kantone über keine derartigen Erlasse. Dem Bund kommt für bestimmte Sachbereiche eine Regelungskompetenz zu, sodass er den Kantonen (nur) sektoriell verbindliche Vorgaben machen kann (z. B. zum Schutz des Grundwassers). Vereinzelt erweist sich die Untergrundregulierung des Bundes auch als unmittelbar projektbezogen (z. B. Cargo Sous Terrain). Insgesamt ist die Untergrundregulierung zum heutigen Zeitpunkt stark fragmentiert. Mit Blick auf bereits etablierte und absehbare Nutzungsformen besteht Potenzial, mit zusätzlichen Regelungen Rechtssicherheit zu schaffen (Kap. 3.1).

Im Arbeitspaket 4 wird gestützt auf die Erkenntnisse des AP3 analysiert, welcher rechtswissenschaftliche und regulatorische Handlungsbedarf für eine nachhaltige Untergrundentwicklung besteht. Vordringlich ist, die Kompetenzverteilung zwischen Bund und Kantonen im Untergrund zu schärfen. Auf kantonaler Ebene können Untergrundgesetze für mehr Rechtssicherheit sorgen. Auf Bundesebene ist die zunehmende Bedeutung des Untergrunds in der Gesetzgebung noch kaum abgebildet bzw. die aktuellen und zukünftigen Nutzungsinteressen scheinen noch nicht angemessen durch Regelungen erfasst. Auch in Bereichen, in denen aktuelle Gesetzesrevisionen laufen (RPG, GeolG), bleiben

zentrale Fragen offen. Für den Bund sind Instrumente des Soft Law (z. B. ein Aktionsplan) zentral, um auf eine ganzheitliche und nachhaltige Entwicklung im Untergrund hinzuwirken. Entsprechende Impulse werden jedoch erst dann umfassend wirksam, wenn sie ins (kantonale) Recht überführt werden (Kap. 3.2).

Die Erkenntnisse dieses interdisziplinären Forschungsprojekts zeigen auf, dass ein schrittweiser, partizipativer Prozess zur Ausarbeitung des Aktionsplans zielführend ist (Kap. 4). Folgende fünf prioritäre Handlungsfelder wurden für eine nachhaltige Entwicklung des Untergrunds und der Ausarbeitung eines partizipativen Aktionsplans identifiziert (Kap. 4.3):

- In einem Dialog mit Kantonen sollten die Rolle und die Kompetenzen des Bundes geklärt werden.
- Die Kantone stellen zentrale Akteure in der Entwicklung des Untergrunds dar. Sie sollten gemeinsame Werkzeuge entwickeln, um ihre fachrelevanten Begriffe, Regelungen und Verfahren harmonisieren zu können.
- Um breit abgestützte, akzeptierte Massnahmen zum Untergrund zu schaffen, braucht es einen schrittweisen, partizipativen Prozess, der in einen Aktionsplan münden sollte. Hierzu braucht es die Beteiligung unterschiedlicher Akteure aus Behörden, Industrie und Verbänden.
- Die multifunktionale und mehrfache Nutzung des Untergrunds sowie die zirkuläre Wirtschaft bergen grosses Synergiepotenzial und sollten für innovative, sektorübergreifende und nachhaltige Untergrundprojekte genutzt und gefördert werden.
- Damit Entscheidungsgrundlagen nachvollziehbar und akzeptiert sind, braucht es weitere naturwissenschaftliche Forschung über den Untergrund.

Résumé

Le sous-sol abrite une grande diversité de ressources essentielles pour l'environnement et la vie humaine, comme l'eau, la chaleur et divers matériaux. Pour faire face à l'accélération du réchauffement climatique, à la transition énergétique et à la croissance démographique qui se poursuit, l'intérêt pour le sous-sol augmente. Les différents intérêts en matière d'utilisation et de protection du sous-sol peuvent entrer en concurrence, mais il peut également en résulter des interactions positives entre les technologies et les groupes d'acteurs. Jusqu'à présent, ces relations de conflits et de synergies entre les ressources souterraines ont été peu étudiées. Le présent travail a donc pour objectif d'identifier les utilisations souterraines actuelles et futures en Suisse et de mieux comprendre les conflits et les synergies (potentiels) liés à ces différentes utilisations. En outre, ce projet examine le droit en vigueur pour les principales utilisations du sous-sol et identifie les besoins en matière de réglementation. Ces éléments ont pour but de contribuer à l'élaboration d'un plan d'action national (chap. 1).

Le premier lot de travail (LdT) établit une vue d'ensemble systématique des utilisations actuelles et futures du sous-sol. Sur la base d'une analyse des sites web des 26 cantons suisses, 21 utilisations ont été identifiées. Ce nombre montre que le sous-sol est déjà utilisé de différentes manières. Les recherches archéologiques, les décharges, l'extraction de géomatériaux, l'exploitation des eaux souterraines, les constructions souterraines et les infrastructures de transport ainsi que les conduites souterraines et la géothermie peu profonde sont présentes dans presque tous les cantons. Certaines utilisations sont en revanche très localisées, comme le stockage en profondeur des déchets nucléaires et le transport souterrain de marchandises. Les utilisations axées sur la protection, comme l'infiltration des eaux de pluie et les zones de protection des eaux souterraines, sont largement répandues. La géothermie profonde, le stockage de gaz et de CO₂ sont envisagés par la moitié des cantons comme des utilisations futures. En outre, l'analyse des sites web montre que les utilisations du sous-sol et la terminologie technique correspondante varie fortement d'un canton à l'autre, ce qui rend l'établissement d'une vue d'ensemble difficile (chap. 2.1).

L'identification des différentes utilisations du sous-sol sert de base au deuxième lot de travail. Celui-ci analyse les relations de conflits et de synergies entre les utilisations. Pour ce faire, des entretiens ont été menés dans les cantons de Zurich, Argovie et Vaud avec des représentants des autorités cantonales, de l'industrie et des associations locales (N=18). Sur la base de leurs témoignages, des

réseaux de conflits et de synergies ont été établis et analysés à l'aide d'une Social Network Analysis (SNA). Il en ressort que les eaux souterraines suscitent le plus de conflits avec d'autres utilisations du sous-sol, ce qui s'explique par le grand volume occupé par les nappes, leur situation à proximité de la surface et leur statut de protection. Les infrastructures souterraines (de transport) présentent le plus grand potentiel de synergies avec d'autres utilisations (p. ex. conduites souterraines, géothermie, recyclage de géomatériaux, etc.). Le potentiel de synergie réside dans l'utilisation plus efficace et durable du sous-sol grâce à la multifonctionnalité, aux usages multiples et à l'utilisation circulaire des ressources (chap. 2.2).

Le troisième lot de travail examine comment les différentes utilisations du sous-sol (LdT1) ainsi que leurs réseaux de conflits et de synergies (LdT2) sont pris en compte par la réglementation existante. En principe, il est de la compétence des cantons de prendre les décisions concernant "leur" sous-sol public. Les cantons de Zurich, Argovie et Vaud le font en premier lieu par le biais de lois cantonales. Toutefois, de nombreux cantons ne disposent pas d'une telle législation. La Confédération dispose d'une compétence réglementaire dans certains domaines, de sorte qu'elle peut imposer aux cantons des prescriptions contraignantes (uniquement) au niveau sectoriel (p. ex. pour la protection des eaux souterraines). Dans certains cas, la réglementation du sous-sol par la Confédération est directement liée à des projets (p. ex. Cargo Sous Terrain). Dans l'ensemble, la réglementation du sous-sol est actuellement très fragmentée. Compte tenu des formes d'utilisation déjà établies et prévisibles, la sécurité juridique peut potentiellement être améliorée par le biais de réglementations supplémentaires (chap. 3.1).

Le quatrième lot de travail analyse, sur la base des résultats du LdT3, les mesures juridiques et réglementaires nécessaires pour un développement durable du sous-sol. Il est prioritaire de clarifier la répartition des compétences entre la Confédération et les cantons dans le domaine du sous-sol. Au niveau cantonal, des lois sur le sous-sol peuvent assurer une plus grande sécurité juridique. Au niveau fédéral, l'importance croissante du sous-sol n'est pas encore reflétée dans la législation et les intérêts d'utilisation actuels et futurs ne semblent pas encore être pris en compte de manière adéquate par des réglementations. Même dans les domaines où des révisions législatives sont en cours (LAT, GeolG), des questions centrales restent ouvertes. Pour la Confédération, les instruments de la soft law (p. ex. un plan d'action) sont essentiels pour œuvrer en faveur d'un développement global et durable du sous-sol. Les impulsions correspondantes ne seront toutefois pleinement efficaces que lorsqu'elles seront transposées dans le droit (cantonal) (chap. 3.2).

Les résultats de ce projet de recherche interdisciplinaire montrent qu'un processus participatif et par étapes pour l'élaboration du plan d'action est pertinent (chap. 4). Les cinq champs d'action prioritaires suivants ont été identifiés pour un développement durable du sous-sol et l'élaboration d'un plan d'action participatif (chap. 4.3) :

- Un dialogue avec les cantons devrait permettre de clarifier le rôle et les compétences de la Confédération.
- Les cantons sont des acteurs centraux dans le développement du sous-sol. Ils devraient développer des outils communs afin d'harmoniser les termes techniques utilisés, leurs réglementations et leurs procédures.
- Pour concevoir des mesures largement acceptées concernant le sous-sol, il faut un processus participatif par étapes qui devrait déboucher sur un plan d'action. Pour ce faire, la participation de différents acteurs issus des autorités, de l'industrie et des associations est nécessaire.
- L'utilisation multifonctionnelle et multiple du sous-sol ainsi que l'économie circulaire recèlent un grand potentiel de synergie et devraient être utilisées et encouragées pour des projets souterrains innovants, intersectoriels et durables.
- Pour que les bases de décision soient compréhensibles et acceptées, il est nécessaire de poursuivre la recherche en sciences naturelles sur le sous-sol.

Sommaire

Répertoire des tableaux et figures	7
Liste des abréviations	8
1. Introduction	9
1.1 Contexte et situation initiale	9
1.2 Objectifs du projet	10
1.3 Méthodologie	11
2 Résultats de la sous-étude 1 : besoins d'utilisation, conflits et synergies pour le sous-sol suisse	12
2.1 Lot de travail 1 (LdT1) : vue d'ensemble systématique des utilisations actuelles et futures du sous-sol	12
2.1.1 Objectifs	12
2.1.2 Démarche	12
2.1.3 Résultats	14
2.2 Lot de travail 2 (LdT2) : conflits/synergies entre les utilisations du sous-sol et attentes concernant le plan d'action	21
2.2.1 Objectifs	21
2.2.2 Démarche	21
2.2.3 Résultats	23
2.3 Processus de synthèse et transfert de connaissances : classement des constats tirés des lots de travail 1 et 2	38
3 Résultats de la sous-étude 2 : application et extension des dispositions réglementaires actuelles pour les besoins d'utilisation du sous-sol suisse	41
3.1 Lot de travail 3 (LdT3) : classification des utilisations dans la législation existante	41
3.1.1 Objectifs	41
3.1.2 Démarche	41
3.1.3 Résultats	42
3.2 Lot de travail 4 (LdT4) : besoins en réglementation et recherche	44
3.2.1 Objectifs	44
3.2.2 Démarche	44
3.2.3 Résultats	45
4 Conclusions et perspective	49
4.1 Qualification juridique des attentes concernant le plan d'action	49
4.2 Réflexion critique des résultats et besoin supplémentaire en recherche	51
4.3 Champs d'action prioritaires pour un aménagement durable du sous-sol et élaboration d'un plan d'action	53
Bibliographie	55
Liste du matériel	58
Liste des ordonnances	59
Annexe	62
Annexe 1	62
Annexe 2	63
Annexe 3	64

Répertoire des tableaux et figures

Tableau 1 : aperçu des lots de travail du projet, de leur centre de réflexion et de la méthodologie (représentation réalisée par nos soins)	11
Tableau 2 : liste des termes de recherche employés dans l'analyse des sites web des cantons concernant les utilisations du sous-sol dans le canton respectif (représentation réalisée par nos soins)	12
Tableau 3 : récapitulatif de la logique de classement des différentes utilisations du sous-sol avec mention de la profondeur et de la ressource concernée (représentation réalisée par nos soins)	14
Tableau 4 : utilisations du sous-sol par canton d'après une recherche des sites web des cantons de l'Argovie à Neuchâtel (représentation réalisée par nos soins)	18
Tableau 5 : utilisations du sous-sol par canton d'après une recherche des sites web des cantons de Nidwald à Zurich (représentation réalisée par nos soins)	19
Tableau 6 : liste des partenaires interrogés par canton et groupe d'acteurs (représentation établie par notre Office)	20
Figure 1 : structure du projet (représentation réalisée par nos soins)	10
Figure 2 : réseau des conflits entre les utilisations du sous-sol dans le canton de Vaud, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales, l'industrie et les associations locales (N=6). Créé avec R.	23
Figure 3 : réseau des synergies entre les utilisations du sous-sol dans le canton de Vaud, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales, l'industrie et les associations locales (N=6). Créé avec R.	24
Figure 4 : réseau des conflits entre les utilisations du sous-sol dans le canton de Zurich, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales, l'industrie et les associations locales (N=6). Créé avec R.	26
Figure 5 : réseau des synergies entre les utilisations du sous-sol dans le canton de Zurich, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales, l'industrie et les associations locales (N=6). Créé avec R.	28
Figure 6 : réseau des conflits entre les utilisations du sous-sol dans le canton d'Argovie, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales, l'industrie et les associations locales (N=6). Créé avec R.	29
Figure 7 : réseau des synergies entre les utilisations du sous-sol dans le canton d'Argovie, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales, l'industrie et les associations locales (N=6). Créé avec R.	31
Figure 8 : réseau des conflits entre les utilisations du sous-sol dans tous les cantons examinés, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales, l'industrie et les associations locales (N=6). Créé avec R.	32
Figure 9 : réseau des synergies entre les utilisations du sous-sol dans tous les cantons examinés, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales, l'industrie et les associations locales (N=6). Créé avec R.	32

Liste des abréviations

ARE	Office fédéral du développement territorial
AWEL	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (Office pour les déchets, les eaux, l'énergie et l'air, canton de Zurich)
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OFT	Office fédéral des transports
DTAP	Conférence suisse des directeurs cantonaux des travaux publics, de l'aménagement du territoire et de l'environnement
Cst.	Constitution fédérale de la Confédération suisse
CFG	Commission fédérale de géologie
LIE	Loi fédérale concernant les installations électriques à faible et à fort courant
LGéo	Loi fédérale sur la géoinformation
GNB/AG	GNB/AG Gesetz über die Nutzung des tiefen Untergrunds und die Gewinnung von Bodenschätzen (loi sur l'utilisation du sous-sol profond et sur l'exploitation des ressources minérales, canton d'Argovie)
GNU/ZH	Gesetz über die Nutzung des Untergrundes (loi sur l'utilisation du sous-sol, canton de Zurich)
LEaux	Loi fédérale sur la protection des eaux
OEaux	Ordonnance sur la protection des eaux
IIE	Institut für Innovation und Entrepreneurship (institut de l'innovation et de l'entrepreneuriat ZHAW)
IRW	Institut für Regulierung und Wettbewerb (institut pour la régulation et la concurrence ZHAW)
KBGeol	Organe de coordination de la Confédération pour la géologie
LENu	Loi sur l'énergie nucléaire
CGC	Conférence des services cantonaux de la Géoinformation et du Cadastre
CSG	Conférence intercantonale du sous-sol géologique
LCC	Loi sur l'utilisation des lacs et cours d'eau dépendant du domaine public (canton de Vaud)
LCG	Loi sur le cadastre géologique (canton de Vaud)
LRNSS	Loi sur les ressources naturelles du sous-sol (canton de Vaud)
MoPEC	Modèles de prescriptions énergétiques des cantons
RLLC	Règlement d'application de la loi du 5 septembre 1944 sur l'utilisation des lacs et cours d'eau dépendant du domaine public et de la loi du 12 mai 1948 réglant l'occupation et l'exploitation des eaux souterraines dépendant du domaine public cantonal (canton de Vaud)
RLG	Regelungskompetenz durch Erlass eines Bundesgesetzes (compétence réglementaire par promulgation d'une loi fédérale)
RLRNSS	Règlement sur les ressources naturelles du sous-sol (canton de Vaud)
OSITC	Ordonnance concernant les prescriptions de sécurité pour les installations de transport par conduites
OITC	Ordonnance sur les installations de transport par conduites de combustibles ou de carburants liquides ou gazeux

LAT	Loi sur l'aménagement du territoire
LApEI	Loi sur l'approvisionnement en électricité
LTSM	Loi fédérale sur le transport souterrain de marchandises
DDPS	Département fédéral de la défense, de la protection de la population et des sports
VNU/ZH	Verordnung über die Nutzung des Untergrundes (ordonnance sur l'utilisation du sous-sol, canton de Zurich)
OPIE	Ordonnance sur la procédure d'approbation des plans des installations électriques
CC	Code civil suisse
ZHAW	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (Haute école des sciences appliquées de Zurich)
ZRW	Zentrum für Regulierung und Wettbewerb (centre pour la régulation et la concurrence ZHAW)

1. Introduction

1.1 Contexte et situation initiale

En raison de l'accélération du réchauffement climatique, de la transition énergétique et de la hausse continue de la population mondiale, les nombreuses ressources du sous-sol deviennent de plus en plus importantes pour les pays et leur développement durable.¹ Les ressources du sous-sol, telles que l'eau souterraine, l'énergie géothermique et les géomatériaux ainsi que les réserves d'espace en profondeur, peuvent apporter une contribution majeure pour atteindre sept des seize objectifs de développement durable fixés par les Nations Unies.² Par ailleurs en raison des avancées technologiques, l'utilisation du sous-sol devient de plus en plus rentable pour différents secteurs (par ex. bâtiment, transports, énergie).³ Cela laisse donc supposer que la valorisation du sous-sol se poursuivra dans les années à venir et que les besoins relatifs aux ressources qu'il contient continueront de croître.⁴

Les multiples revendications quant à l'utilisation du sous-sol peuvent entrer en concurrence, raison pour laquelle il convient de faire une pesée d'intérêts entre les risques et les opportunités pour les sociétés actuelles et futures.⁵ Il est impératif de considérer également les aspects liés à la protection (par ex. protection des eaux souterraines).⁶ Néanmoins, une stratégie globale permettant une utilisation coordonnée et durable du sous-sol, ainsi que sa protection, manque dans de nombreux pays, dont la Suisse.⁷ Une meilleure compréhension et gestion du sous-sol est indispensable pour prévenir les conflits d'usage à moyen et long terme mais aussi pour encourager les synergies et les innovations.⁸

En Suisse le besoin d'une planification globale et d'une gestion durable du sous-sol s'accroît pour pouvoir anticiper et concilier les intérêts concernant l'utilisation et la protection. C'est pourquoi la Confédération, les cantons et les communes se sont penchés ces dernières années sur le sous-sol, tout en sachant que le terme « sous-sol » n'est pas toujours interprété de la même façon.⁹ Une stratégie nationale concernant le sous-sol et servant d'orientation pour les acteurs publics et privés pourrait toutefois favoriser une compréhension commune de ce qu'est le sous-sol.

¹ Li et al., 2016.

² Selon Admiraal et Cornaro (2018), il s'agit des objectifs 2,6,7,8,9,11 et 13.

³ Goel et al., 2012.

⁴ Volchko et al., 2020.

⁵ Bartel/Janssen, 2016.

⁶ Abegg/Dörig, 2018.

⁷ Admiraal/Cornaro, 2016.

⁸ Price et al., 2016; Bauer et al., 2013; von der Tann et al., 2020.

⁹ Abegg/Dörig, 2019.

Le 3 septembre 2020, le Département fédéral de la défense, de la protection de la population et des sports (DDPS) a chargé la Commission fédérale de géologie (CFG) d'élaborer une stratégie pour le sous-sol suisse. Pour concevoir cette stratégie, la Commission a organisé, de 2020 à 2022, plusieurs ateliers regroupant expertes et experts. La « Stratégie Sous-sol Suisse 2023 »¹⁰ qui en est ressortie a identifié cinq objectifs (connaissances, durabilité, résilience, gouvernance et innovation) nécessaires pour le développement d'une gestion intégrale du sous-sol. Pour atteindre ces objectifs, quatre axes stratégiques ont été définis. Ceux-ci comportent chacun plusieurs sous-aspects et actions qui doivent être mis en œuvre à l'avenir afin d'assurer la coordination nationale de l'extraction des ressources souterraines. Pour que ces actions puissent être mises en place au moyen de mesures concrètes, la conseillère fédérale en charge du DDPS, Viola Amherd, a chargé swisstopo de l'élaboration d'un plan d'action.

1.2 Objectifs du projet

Dans le cadre du présent projet de recherche, la Haute école des sciences appliquées de Zurich (ZHAW) aide swisstopo à élaborer le plan d'action. Les résultats du projet de recherche constituent une première base pour approfondir la stratégie existante sur le sous-sol et élaborer un plan d'action.

Le projet de recherche se compose de deux sous-études comportant chacune deux lots de travail. Les sous-études ont été menées en parallèle par l'Institut de l'innovation et de l'entrepreneuriat (IIE) et l'Institut pour la régulation et la concurrence (IRW) de la ZHAW.¹¹ Les deux sous-études et les lots de travail correspondants ont été intégrés à un processus de synthèse en continu pour assurer le transfert des connaissances au sein de l'équipe du projet et une intégration constante des nouveaux constats dans le processus de travail (cf. figure 1).

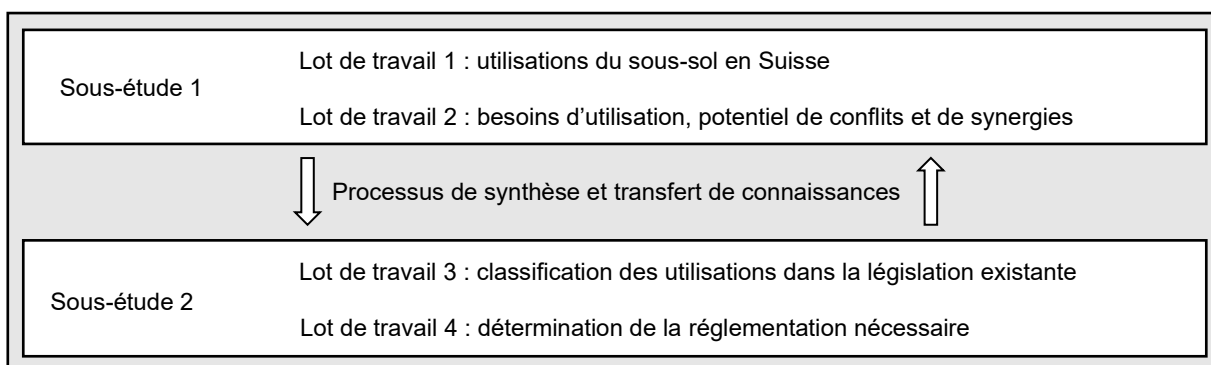


Figure 1 : structure du projet (représentation réalisée par nos soins)

Sous-étude 1 : besoins d'utilisation, conflits et synergies pour le sous-sol suisse

Il manque, à l'heure actuelle, un aperçu systématique des utilisations présentes et futures du sous-sol en Suisse. On ne sait donc pas comment les différents cantons suisses souhaitent ou souhaiteront à l'avenir utiliser le sous-sol ni comment les prendre en compte dans une planification nationale du sous-sol. En raison de l'absence d'une vue globale, il n'est pas non plus possible aujourd'hui d'identifier de manière exhaustive dans quels domaines il existe déjà des conflits et synergies entre les différentes utilisations et où ceux-ci pourraient potentiellement apparaître. Dans ce contexte, il est en outre nécessaire de mieux comprendre les points de vue spécifiques des acteurs (cantons, industries et associations) concernant les utilisations, responsabilités et besoins à prioriser. C'est pourquoi la sous-étude « Besoins d'utilisation, conflits et synergies pour le sous-sol suisse » récolte et examine :

- 1) les utilisations existantes et futures du sous-sol en Suisse (LdT1) ;
- 2) les synergies et conflits potentiels entre ces utilisations (LdT2) ;
- 3) les attentes concernant le plan d'action pour le sous-sol (LdT2).

¹⁰ Stratégie Sous-sol Suisse, 2023 : <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/75195.pdf>.

¹¹ Le 1^{er} janvier 2024, le ZRW est devenu l'Institut pour la régulation et la concurrence (IRW).

Sous-étude 2 : application et extension des dispositions réglementaires actuelles pour les besoins d'utilisation du sous-sol suisse

Une certaine incertitude règne au niveau des bases légales applicables au sous-sol. Il est régulièrement signalé qu'aucun instrument de planification adapté n'existe et que les compétences ne sont pas suffisamment bien définies.¹² Il est difficile de dire également lesquelles des bases légales existantes peuvent être appliquées dans le domaine de l'aménagement du sous-sol.¹³ S'appuyant sur l'enquête d'Abegg et de Dörig (2018), la sous-étude « Application et extension des dispositions réglementaires actuelles pour les besoins d'utilisation du sous-sol suisse » examine :

- 1) comment les utilisations et les besoins identifiés dans la première sous-étude sont traités dans le cadre légal existant (LdT3) ;
- 2) dans quelle mesure une adaptation des réglementations s'avère nécessaire (LdT4).

Les besoins d'utilisation identifiés sont mis en lien avec les bases légales existantes et analysés à la lumière de celles-ci.

1.3 Méthodologie

Différentes méthodes ont été adoptées pour les sous-études et lots de travail respectifs. Un mélange de méthodes qualitatives et quantitatives a été appliqué pour les lots de travail concernant les sciences sociales, dans la sous-étude 1, tandis que les lots de travail juridiques de la sous-étude 2 ont suivi une méthode provenant des sciences juridiques.¹⁴ Le tableau 1 répertorie le sujets de réflexion et les différentes méthodes des lots de travail. La démarche suivie dans les différentes études et leurs résultats seront présentés aux chapitres 2 et 3.

Tableau 1 : aperçu des lots de travail du projet, de leur sujets de réflexion et de la méthodologie (représentation réalisée par nos soins)

Lot de travail (LdT)	Sujet de réflexion	Méthodes
Lot de travail 1 : utilisations du sous-sol en Suisse	Quelles sont les utilisations actuelles et futures pour le sous-sol en Suisse ?	<ul style="list-style-type: none">• Analyse systématique de textes avec livre-code (en se basant sur une analyse de la littérature en amont)
Lot de travail 2 : besoins d'utilisation, potentiel de conflits et de synergies	Quels conflits et synergies existent entre les différentes utilisations du sous-sol dans les cantons étudiés ? Existe-t-il différentes perceptions concernant le potentiel de conflits et de synergies des utilisations du sous-sol ? Quels sont les priorités et les défis pour l'élaboration d'un plan d'action ?	<ul style="list-style-type: none">• Entretiens basés sur un questionnaire avec des représentantes et représentant des cantons, de l'industrie et des associations (N=18)• Entretiens de validation avec des expertes et experts du sous-sol (N=3)• Analyse des réseaux sociaux avec le logiciel R pour l'évaluation et la représentation des conflits et des synergies entre les utilisations du sous-sol
Lot de travail 3 : classification des utilisations dans la législation existante	À quoi ressemble l'actuel système de réglementation gouvernementale du sol (répartition des compétences entre les collectivités, les instituts et domaines juridiques	<ul style="list-style-type: none">• Étude de la littérature selon la méthodologie juridique• Analyse des bases légales

¹² Cf. Muggli, 2022, p. 131 ; Huser, 2023, p. 186.

¹³ Abegg/Dörig, 2018.

¹⁴ On entend par méthodologie juridique en premier lieu « la doctrine des règles que l'interprète (surtout le juge) doit observer pour déterminer le sens des normes juridiques » ; comme l'exprime Kramer, 2016, p. 35 et p. 57 sq., concernant les éléments d'interprétation classiques.

	concernés, etc.) ? Où, comment et par qui les utilisations, conflits et synergies identifiés dans la sous-étude 1 (LdT1 et LdT2) sont-ils réglementés selon le droit en vigueur ?	<ul style="list-style-type: none"> Analyse des pratiques juridiques
Lot de travail 4 : détermination de la réglementation nécessaire	<p>Les utilisations et besoins découlant de la sous-étude 1 (LdT1 et 2) sont-ils suffisamment pris en compte par le cadre légal actuel ?</p> <p>Quels besoins de réglementation existe-t-il et à quoi pourrait ressembler une future réglementation ?</p> <p>Où une analyse juridique complémentaire est-elle nécessaire pour préciser davantage les besoins de réglementation et y répondre ?</p>	<ul style="list-style-type: none"> Analyse juridique Subsorption des résultats de la sous-étude 1 (LdT1 et 2)

2 Résultats de la sous-étude 1 : besoins d'utilisation, conflits et synergies pour le sous-sol suisse

2.1 Lot de travail 1 (LdT1) : vue d'ensemble systématique des utilisations actuelles et futures du sous-sol

2.1.1 Objectifs

Étant donné qu'une vue d'ensemble complète de l'utilisation du sous-sol suisse manque, l'objectif du LdT1 est de rassembler de manière exhaustive les utilisations actuelles et futures dans les 26 cantons. Les utilisations identifiées du sous-sol sont classées comme utilisations établies, projets pilotes ou utilisations futures. Grâce à cette vue d'ensemble, il est possible de montrer quelles utilisations du sous-sol doivent être prises en compte pour une planification du sous-sol.

2.1.2 Démarche

Une analyse de textes systématique a été réalisée afin d'identifier les utilisations du sous-sol au niveau des cantons.¹⁵ À cette fin, des documents, études et scénarios librement accessibles sur les sites web des cantons ont été analysés selon des critères de recherche définis (cf. tableau 2). En partant de cette base de données, la vue d'ensemble des utilisations du sous-sol par canton n'est pas forcément exhaustive. Elle reflète les utilisations que l'on peut trouver sur les sites web officiels des cantons au moment du projet de recherche, en fonction de catégories définies.

Les termes recherchés pour l'analyse des textes ont été déterminés au cours d'un procédé itératif en trois étapes. En premier lieu, la littérature existante concernant les catégorisations d'utilisations du sous-sol a été consultée.¹⁶ Dans une seconde étape, les catégories de recherche définies ont été complétées par l'équipe du projet et testées sur quelques-uns des sites web cantonaux. Cela a permis d'étendre les catégories afin de tenir compte des fortes variations de terminologie entre les cantons. En parallèle à la réalisation de la première analyse complète des cantons, les catégories d'utilisation ont été utilisées pour les entretiens menés dans le cadre du lot de travail 2 (cf. chapitre 2.2.2) et ont pu ainsi être validées ou complétées. Lors de cette troisième étape a eu lieu une catégorisation finale des utilisations du sous-sol qui a permis d'affiner les catégories et de les adapter au jargon technique. Une phase d'analyse finale des sites web des cantons avec les termes de recherche en partie adaptés a ensuite été menée. Le tableau 2 répertorie tous les termes employés en allemand et en français.

Tableau 2 : liste des termes de recherche employés dans l'analyse des sites web des cantons concernant les utilisations du sous-sol dans les cantons respectifs (représentation réalisée par nos soins).

¹⁵ Kuckartz, 2019.

¹⁶ Parriaux et al., 2008, 2004 ; Bobylev, 2009 ; De Mulder et al., 2012 ; Bartel/Janssen, 2016 ; Hamor-Vido et al., 2021.

Suchbegriffe – Nutzungen –	Termes de recherche – Utilisations –
Archäologische Funde > <i>Ausgrabungen</i> Bohrung Deponien Gasförderung Geologisches Kataster Geomaterialien > <i>Steinbruch</i> > <i>Unterirdische Materialgewinnung</i> > <i>Mineralische Rohstoffe</i> Geothermie > <i>Untiefe Geothermie</i> > <i>Oberflächennahe Geothermie</i> > <i>Erdsonden</i> > <i>Grundwasserpumpe</i> > <i>Wärmepumpe</i> > <i>Tiefengeothermie</i> Grundwasser > <i>Trinkwasser</i> > <i>Thermalwasser</i> > <i>Grundwassergewinnung</i> Militärische Anlagen > <i>Armeestollen</i> > <i>Bunker</i> > <i>Unterirdische (Zivil-)Schutzanlagen</i> Tiefenlager Untergrund Untergrundnutzung Untergrundressourcen Unterirdisch Unterirdische Bauten / Tiefbau > <i>Stollen</i> > <i>Unterirdische Gewerbezone</i> > <i>Untergeschosse</i> > <i>Minen</i> > <i>Höhlen</i> Unterirdische Lagerung Unterirdische Leitungen Unterirdische Schutzzone Unterirdische Speicherung > <i>CO₂-Speicherung</i> > <i>Kohlenwasserstoff-Speicherung</i> > <i>Gasspeicherung</i> > <i>Energiespeicherung</i> Unterirdische Verkehrsinfrastruktur > <i>Tiefgarage</i> > <i>Tunnel</i> Unterirdischer Gütertransport > <i>Cargo Sous Terrain</i> Versickerung	Trouvailles archéologiques > <i>Excavations</i> Forage Décharge Extraction de gaz Cadastre géologique Géomatériaux > <i>Carrière</i> > <i>Extraction souterraine de matériaux</i> > <i>Ressources minérales</i> Géothermie > <i>Géothermie peu profonde / de surface</i> > <i>Géothermie à faible profondeur</i> > <i>Sondes géothermiques</i> > <i>Pompage à la nappe</i> > <i>Pompes à chaleur</i> > <i>Géothermie profonde</i> Eau souterraine / Nappe phréatique > <i>Eau potable</i> > <i>Eau thermale</i> > <i>Extraction d'eau souterraine</i> Installations militaires > <i>Galerie de l'armée</i> > <i>Abris</i> > <i>Protection civile souterraine</i> Dépôt en couches géologiques profondes Sous-sol Utilisation du sous-sol Ressources du sous-sol Souterrain Construction souterraine > <i>Galerie souterraine</i> > <i>Zone commerciale souterraine</i> > <i>Sous-sol</i> > <i>Mines</i> > <i>Cavernes / Grottes</i> Dépôt géologique en profondeur Conduites souterraines Zone protégée souterraine Stockage souterrain > <i>Stockage de CO₂</i> > <i>Stockage d'hydrocarbures</i> > <i>Stockage de gaz</i> > <i>Stockage d'énergie</i> Infrastructure souterraine de transport > <i>Parking souterrain</i> > <i>Tunnel</i> Transport souterrain de marchandise > <i>Cargo Sous Terrain</i> Infiltration

La fonction de recherche interne a été utilisée sur tous les sites web des cantons. Les pages, documents, articles de presse ou éléments similaires ont été examinés pour trouver une concordance thématique avec les termes de recherche utilisés. L'équipe a veillé à ce que les sources affichées ne

soient considérées que si elles se rapportent de manière explicite au sous-sol. De plus, le statut actuel des utilisations du sous-sol identifiées a été relevé selon les trois catégories suivantes :

- **Utilisation établie** : utilisation persistante, régulière et durable ; utilisation de technologies établies
- **Projets pilotes** : technologie et utilisation nouvelles ; en phase de test avec des projets pilotes isolés
- **Utilisation future** : utilisation potentielle à l'avenir, mais sans projet d'application concret

Les données concernant les 26 cantons, y compris les données sur les sources, ont été rassemblées dans un fichier *Excel* et évaluées de manière descriptive. Les cantons du Tessin (Ti) et du Valais (VS) n'ont pas pu être examinés avec la même fiabilité selon cette démarche. En raison des barrières linguistiques, le canton du Tessin n'a été analysé que de manière superficielle avec un logiciel de traduction (*DeepL.com*), ce qui ne permet pas de garantir une analyse complète et approfondie du contenu. Pour le canton du Valais, une fonction de recherche était présente sur le site web du canton, mais ne fonctionnait pas correctement. Elle a été complètement désactivée au cours de notre analyse. Par conséquent, le canton du Valais a été analysé manuellement sans pouvoir recourir à une fonction de recherche terminologique systématique. Ces deux cantons sont donc signalés par un astérisque (*) au chapitre 2.1.4.

2.1.3 Résultats

2.1.3.1 Vue d'ensemble des utilisations existantes et futures du sous-sol

La stratégie « Sous-sol Suisse » de 2023 différencie globalement quatre ressources souterraines : les réserves d'espace, les eaux souterraines, l'énergie et les géorressources. Par ailleurs, des utilisations, telles que la géothermie, le stockage des déchets radioactifs, le patrimoine culturel archéologique et les formes de vie souterraines, y sont citées.¹⁷ L'analyse systématique des sites web cantonaux et les entretiens menés avec différents acteurs concernant le sous-sol montrent que des utilisations nombreuses et variées jouent un rôle central dans l'aménagement du sous-sol. La recherche systématique sur les sites web cantonaux s'est avérée relever du défi, car les termes et la nomenclature diffèrent fortement d'un canton à l'autre. Ce chapitre doit donc être considéré comme une tentative de catégorisation et de synthèse systématiques des utilisations du sous-sol suisse, sans pouvoir toutefois prétendre à l'exhaustivité.

Le tableau 3 répertorie (par ordre alphabétique des expressions allemandes) les utilisations du sous-sol, identifiées dans l'analyse des sites web cantonaux et au travers des entretiens avec des partenaires. Pour la suite des analyses de ce projet, certaines utilisations similaires ont été regroupées et d'autres subdivisées en catégories plus fines, selon leur importance pour l'aménagement du sous-sol suisse. La justification, c'est-à-dire la logique sous-tendant cette catégorisation, est expliquée plus en détail dans le tableau 3 et ne prétend pas être exhaustive. La ressource correspondante dans le sous-sol (reposant sur la catégorisation de la stratégie Sous-sol Suisse), la couche du sous-sol concernée (profonde/peu profonde) ainsi que l'état actuel de l'utilisation (établie, pilote ou future) sont décrits pour chacune des utilisations. En plus des quatre catégories de ressources de la stratégie Sous-sol Suisse, nous prenons en compte également la ressource « Protection » étant donné qu'elle n'est considérée dans aucune des catégories déjà définies alors même qu'elle est essentielle pour une utilisation durable à long terme des ressources du sous-sol.

Tableau 3 : récapitulatif de la logique de catégorisation des différentes utilisations du sous-sol avec mention de la profondeur et de la ressource concernée (représentation réalisée par nos soins).

Utilisation du sous-sol	Ressource	Profondeur	Description, situation actuelle et logique de classement

¹⁷ Stratégie Sous-sol Suisse, 2023 : <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/75195.pdf>.

Archäologische Funde Trouvailles archéologiques	Réserve d'espace	Peu pro- fond	Le patrimoine culturel archéologique se trouve généralement dans des couches peu profondes du sous-sol. Les découvertes archéologiques sont réglementées de manière claire. Presque tous les cantons possèdent un service dédié aux découvertes archéologiques au niveau du canton.
CO ₂ -Speicherung Stockage du CO ₂	Réserve d'espace	Profond	Le stockage du CO ₂ est une utilisation future du sous-sol suisse, avec des essais préliminaires réalisés au laboratoire du Mont-Terri dans le canton du Jura. Nous faisons la distinction entre stockage de CO ₂ et de gaz dans le sous-sol, car la première utilisation pourrait jouer un rôle important à l'avenir dans les stratégies pour l'énergie et le climat sur le plan national et cantonal.
Deponie Décharge	Réserve d'espace	Peu pro- fond	Les décharges comprennent des terrains utilisés comme lieu de stockage pour différents déchets. Bien qu'elles se trouvent en surface, les décharges sont clairement considérées comme utilisation du sous-sol dans les entretiens, car souvent, elles sont creusées dans le sous-sol peu profond afin d'obtenir un volume de stockage encore plus élevé. Selon le polluant et le degré de pollution des déchets stockés, il est possible que le sous-sol des décharges ne puisse plus être utilisé ensuite pendant une longue période.
Energiespeicherung Stockage d'énergie	Réserve d'espace	Profond / peu profond	Le stockage d'énergie constitue une utilisation actuelle ou potentielle, selon le canton. Dans ce cas d'application, l'énergie thermique est stockée dans des cavités (par ex. des cavernes) ou dans des couches géologiques poreuses et utilisée à un moment ultérieur.
Gasförderung Extraction de gaz	Énergie	Profond	En Suisse, l'extraction de gaz pourrait jouer un rôle à l'avenir. Différents cantons prospectent leur sous-sol à la recherche de gaz, par ex. de gaz naturel. Cependant à l'heure actuelle, aucun site d'extraction de gaz n'est actif en Suisse. Il est importé de l'étranger.
Gasspeicherung Stockage de gaz	Réserve d'espace	Profond	Le stockage de gaz est une catégorie globale qui comprend tous les stockages dans le sous-sol, se faisant sous forme gazeuse, comme le stockage de l'hydrogène et du gaz naturel. Nous classons le stockage du CO ₂ dans une catégorie à part étant donné qu'il pourrait jouer un rôle important à l'avenir dans les stratégies pour l'énergie et le climat de la Suisse.
Geomaterialien Géomatériaux	Géorressources	Peu pro- fond	La catégorie « Géorressources » comprend tous les types de matières premières géologiques qui peuvent être extraites du sous-sol. Les exemples les plus courants en suisse sont l'extraction de gravier, calcaire, argile, granite et sel. L'industrie exploitant les géomatériaux est très développée en Suisse.

Grundwasser Eau souterraine	Eau souterraine	Profond / peu profond	L'eau souterraine désigne toutes les occurrences d'eau souterraines. L'eau souterraine est utilisée par exemple comme eau potable ou industrielle pour divers usages. L'utilisation de l'eau souterraine et sa protection sont fortement réglementées en Suisse.
Militärische Anlagen Installations militaires	Réserve d'espace	Peu profond	Des installations militaires souterraines sont réparties sur tout le territoire suisse et peuvent se composer de constructions souterraines destinées à la protection des civils, de tunnels ou d'autres ouvrages similaires. Cependant, les renseignements sur leur emplacement exact sont tenus secrets. Il est donc difficile d'estimer si ce type d'utilisation du sous-sol est largement répandu ou non.
Oberirdische Infrastruktur Infrastructure de surface	Réserve d'espace	Peu profond	La catégorie « Infrastructure de surface » comprend de manière générale les structures superficielles qui nécessitent un ancrage dans le sous-sol. L'exemple des installations de protection contre les avalanches est ressortie des entretiens. Ces aménagements requièrent d'immenses pieux enfoncés dans le sous-sol peu profond pour ancrer l'installation.
Schutzzone Zone protégée	Protection	Profond / peu profond	Lors des entretiens ainsi que de la recherche des utilisations du sous-sol dans les cantons, il est apparu clairement que les zones protégées en surface et en sous-sol, par ex. des réserves d'eau souterraine, ont un fort impact sur d'autres utilisations. C'est pourquoi les zones protégées sont définies, concernant les couches du sous-sol, comme une catégorie d'utilisation à part.
Thermalwasser Eau thermale	Eau souterraine	Profond / peu profond	L'utilisation de l'eau thermale pour les piscines et stations thermales a une longue tradition en Suisse, c'est pourquoi l'eau thermale dispose ici de sa propre catégorie.
Tiefengeothermie Géothermie profonde	Énergie	Profond	La récupération de l'énergie des couches profondes du sous-sol est appelée géothermie profonde (à partir de 500 mètres sous terre). Concernant sa profondeur, la définition exacte de la géothermie profonde varie d'un acteur à l'autre. L'Association faîtière Géothermique Suisse parle ainsi de 500 mètres de profondeur pour la géothermie de moyenne et grande profondeur. Mais étant donné que toutes les autorités cantonales et fédérales ne font pas cette distinction, seule la désignation de géothermie profonde pour une récupération de l'énergie à partir de 500 mètres de profondeur est retenue dans le présent rapport. À l'heure actuelle, il existe déjà quelques projets pilotes correspondants. La géothermie profonde pourrait jouer un rôle important à l'avenir dans les stratégies pour l'énergie et le climat en Suisse.

Tiefenlager Dépôt en couches géologiques profondes	Réserve d'espace	Profond	Les déchets radioactifs doivent être stockés sur de longues périodes dans le sous-sol suisse. La détermination des lieux adaptés sur le plan géologique et socio-économique nécessite une coordination nationale et dépasse les limites des cantons. Par conséquent, le dépôt en couches géologiques profondes est réglementé par un plan directeur au niveau de la Confédération et constitue aujourd'hui une forme d'utilisation future. En raison des défis particuliers que posent les dépôts en couches géologiques profondes, ils sont différenciés du stockage souterrain.
Unterirdische Bauten Constructions souterraines	Réserve d'espace	Peu profond	Cette catégorie comprend tous les types de construction qui pénètrent sous la surface terrestre. Elle contient toute une palette de constructions aux usages divers, par ex. sous-sol des immeubles, parkings souterrains, zones artisanales, piscines, centres de données, etc. La construction souterraine est une forme d'utilisation établie qui est clairement réglementée par des procédures et des bases légales.
Unterirdische Lagerung Dépôt géologique en profondeur	Réserve d'espace	Peu profond	Différents matériaux sous forme solide, liquide ou gazeuse peuvent être stockés dans le sous-sol peu profond, par ex. stock de matériaux ou d'eau, de mazout et d'essence dans des réservoirs souterrains. Le stockage de ce type de substances est clairement réglementé et dépend des caractéristiques de la substance en question. Les procédures cantonales sont déterminantes.
Unterirdische Leitungen Conduites souterraines	Réserve d'espace	Peu profond	Les conduites souterraines décrivent tous les types et réseaux de conduites qui sont enfouies dans le sous-sol. Il s'agit, par exemple, des lignes de télécommunication, des conduites pour les systèmes d'eaux usées, des réseaux de chauffage à distance, des réseaux souterrains de distribution d'eau, etc. De manière générale, la pose des conduites de tout type est réglementée sur le plan légal.
Unterirdische Verkehrsinfrastruktur Infrastructure souterraine de transport	Réserve d'espace	Peu profond	Cette catégorie comprend toutes les infrastructures souterraines qui ont trait à la mobilité et disposent d'une composante régionale, par ex. réseaux de tunnels et de routes, systèmes de métro, etc. En tant que partie intégrante des constructions souterraines mais avec une fonction de mobilité, les projets d'infrastructures souterraines de transport sont soumis à des bases légales et à des procédures.
Unterirdischer Gütertransport Transport souterrain de marchandise	Réserve d'espace	Peu profond	En tant que futur grand projet intercantonal, déployé à large échelle, le transport souterrain de marchandises (« Cargo Sous terrain ») est présenté ici comme forme d'utilisation distincte des infrastructures souterraines de transport. Comparativement aux tunnels et à d'autres infrastructures de transport, Cargo Sous terrain est un projet pionnier qui nécessite des réglementations légales et doit suivre un plan directeur. La souveraineté territoriale pour cette utilisation ne revient pas aux cantons mais à la Confédération.

Untiefe Geothermie Géothermie peu profonde	Énergie	Peu profond	La géothermie peu profonde est une forme de récupération d'énergie dans les couches supérieures du sous-sol (jusqu'à env. 300 – 500 m de profondeur). La chaleur et le froid sont acheminés à l'aide de sondes géothermiques, de pompes à chaleur et d'autres technologies, mais aucune électricité n'est produite. La géothermie peu profonde est largement répandue en Suisse. Des bases légales ainsi que des procédures réglementaires existent dans tous les cantons.
Versickerung Infiltration	Protection	Profond / peu profond	L'infiltration des eaux pluviales sert à la protection et à la régénération des eaux souterraines. En raison de l'importance de ce processus naturel et de grande ampleur, l'infiltration a été identifiée à plusieurs reprises dans les entretiens comme utilisation du sous-sol et est catégorisée ici comme utilisation supplémentaire par rapport aux zones protégées.

2.1.3.2 Utilisations du sous-sol dans les différents cantons suisses

Des utilisations nombreuses et diverses du sous-sol sont déjà établies dans les cantons suisses et jouent un rôle central dans l'aménagement durable du territoire. Pour permettre une meilleure lisibilité, le récapitulatif systématique des utilisations du sous-sol par canton a été divisé en deux tableaux avec un classement par ordre alphabétique (tableau 4 : cantons d'Argovie à Neuchâtel / tableau 5 : cantons de Nidwald à Zurich).

Les découvertes archéologiques, les décharges, les sites d'extraction de géomatériaux, l'utilisation de l'eau souterraine, les constructions et les infrastructures de transport souterraines ainsi que les conduites souterraines et la géothermie peu profonde sont des utilisations établies dans (presque) tous les cantons. L'analyse montre que des aspects de protection, par ex. l'infiltration des eaux pluviales dans le sol et les zones protégées (par ex. protection des eaux souterraines), sont associés au sous-sol et son utilisation dans (presque) tous les cantons.

Il existe des projets pilotes notamment en géothermie profonde ; ils sont présents aussi bien en Suisse alémanique qu'en Romandie. De plus, la géothermie profonde est envisagée comme utilisation future du sous-sol dans presque tous les cantons, même si son potentiel estimé varie d'un canton à l'autre. Outre la géothermie profonde, le stockage de CO₂ et de gaz est mentionné comme utilisations futures potentielles sur près de la moitié des sites web cantonaux. En revanche, le transport souterrain de marchandises et le dépôt en couches géologiques profondes ne sont cités comme utilisations futures que dans des sites concrets de certains cantons. Le stockage d'énergie et l'extraction de gaz sont mentionnés dans certains cantons, d'une part isolément comme utilisation future, et d'autre part comme utilisation déjà existante.

En résumé, ce premier lot de travail montre que le sous-sol suisse est déjà utilisé de diverses manières. Différents secteurs économiques exploitent déjà activement le sous-sol à l'aide de diverses technologies. Des utilisations futures impliquant de nouvelles branches (par ex. la géothermie profonde) vont s'y ajouter. En tout 21 utilisations qui jouent actuellement ou joueront à l'avenir un rôle central ont été identifiées. La protection des ressources souterraines et des sols ainsi que les interactions entre surface et sous-sol constituent également des aspects importants (l'infiltration des eaux pluviales par ex. est décisive pour la régénération de la nappe phréatique).

Tableau 4 : utilisations du sous-sol par canton d'après une recherche sur les sites web des cantons d'Argovie à Neuchâtel (représentation réalisée par nos soins).

Légende : ● Utilisation établie, ■ projet(s) pilote(s), □ utilisation future

	AG	AI	AR	BE	BL	BS	FR	GE	GL	GR	JU	LU	NE
Archäologische Funde / Trouvailles archéologiques	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
CO ₂ -Speicherung / Stockage du CO ₂					□	□				□	□	□	
Deponie / Décharge	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Energiespeicherung / Stockage d'énergie					□			□					□
Gasförderung / Extraction de gaz	●				□		□					□	
Gasspeicherung / Stockage de gaz					□						□	□	□
Geomaterialien / Géomatériaux	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●
Grundwasser / Eau souterraine	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Militärische Anlagen / Installations militaires	●	●	●		●	●	●	●	●	●		●	
Oberirdische Infrastruktur / Infrastructure de surface						■				●			
Schutzzone / Zone protégée	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Thermalwasser / Eau thermale	●			●					●	●			
Tiefengeothermie / Géothermie profonde	■	□		□	□	■	□	■		□	■	□	
Tiefenlager / Dépôt en couches géologiques profondes	□										□		
Unterirdische Bauten / Constructions souterraines	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Unterirdische Lagerung / Dépôt géologique		●	●	●	●			●	●	●		●	
Unterirdische Leitungen / Conduites souterraines	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Unterirdische Verkehrsinfrastruktur / Infrastructure souterraine de transport	●	●	●	□	●	●	●	■	●	●	●	●	●
Unterirdischer Gütertransport / Transport souterrain de marchandise	□			□								□	□
Untiefe Geothermie / Géothermie peu profonde	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Versickerung / Infiltration	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Tableau 5 : utilisations du sous-sol par canton d'après une recherche sur les sites web des cantons de Nidwald à Zurich (représentation réalisée par nos soins).

Légende : ● Utilisation établie, ■ projet(s) pilote(s), □ utilisation future

	NW	OW	SG	SH	SO	SZ	TG	TI*	UR	VD	VS*	ZG	ZH
Archäologische Funde / Trouvailles archéologiques	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
CO ₂ -Speicherung / Stockage du CO ₂	□	□					□	□	□	□		□	□
Deponie / Décharge	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Energiespeicherung / Stockage d'énergie			□				●		●	□		●	□
Gasförderung / Extraction de gaz	□	□					□			□		□	□
Gasspeicherung / Stockage de gaz	□	□					□			□		□	□
Geomaterialien / Géomatériaux	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Grundwasser / Eau souterraine	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Militärische Anlagen / Installations militaires	●	●	●	●	●		●		●	●		●	
Oberirdische Infrastruktur / Infrastructure de surface			■	●					●				■
Schutzzone / Zone protégée	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●	●
Thermalwasser / Eau thermale			●							●	●		
Tiefengeothermie / Géothermie profonde	□	□	■	□	□	□	■	□	□	■	□	□	■
Tiefenlager / Dépôt en couches géologiques profondes							□					□	■
Unterirdische Bauten / Constructions souterraines	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
Unterirdische Lagerung / Dépôt géologique	●		●	●				●	●	●		●	
Unterirdische Leitungen / Conduites souterraines	●	●	●	●		●	●	●	●	●		●	●
Unterirdische Verkehrsinfrastruktur / Infrastructure souterraine de transport	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Unterirdischer Gütertransport / Transport souterrain de marchandise			□		□		□			□		□	□
Untiefe Geothermie / Géothermie peu profonde	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Versickerung / Infiltration	●	●	●			●	●		●	●		●	●

*Cantons avec base de données limitée

2.2 Lot de travail 2 (LdT2) : conflits/synergies entre les utilisations du sous-sol et attentes concernant le plan d'action

2.2.1 Objectifs

Le deuxième lot de travail a pour objectif d'identifier, à l'aide de trois cantons (Argovie, Vaud et Zurich), les synergies et conflits actuels ou possibles entre les utilisations du sous-sol. La priorité est donnée notamment aux utilisations du sous-sol qui entrent en conflit avec un grand nombre d'autres utilisations ou qui présentent un fort potentiel de synergie puisque celles-ci pourraient s'avérer particulièrement pertinentes pour un aménagement stratégique du sous-sol. Les résultats se basent sur une série d'entretiens avec des représentantes et représentants locaux des associations, des autorités cantonales et de l'industrie (N=18). Pour obtenir une perspective diversifiée des conflits et synergies de l'utilisation du sous-sol, des personnes issues de diverses catégories professionnelles ont été interviewées. De plus, il a été demandé aux personnes interrogées de donner leur avis sur la stratégie Sous-sol Suisse et sur le plan d'action.

2.2.2 Démarche

En collaboration avec l'Office fédéral de topographie – swisstopo et l'Office fédéral du développement territorial (ARE), trois cantons ont été sélectionnés en amont de cette étude : les cantons d'Argovie, de Vaud et de Zurich. Il s'agissait en premier lieu de sélectionner des cantons qui couvrent une grande diversité d'utilisations du sous-sol et qui ont des bases légales ou des plans stratégiques pour l'utilisation du sous-sol sur leur territoire cantonal. De plus, il fallait qu'y figure un canton francophone, en plus des cantons germanophones.

Pour chacun des trois cantons, deux représentantes et représentants des services cantonaux, de l'industrie et des associations locales ont été interrogés concernant le sous-sol (N=18, cf. tableau 6). Les entretiens, basés sur un questionnaire, ont été réalisés entre juin et août 2023, soit en ligne soit en présentiel. Les entretiens menés en français ou en (suisse) allemand ont duré environ une heure et ont été enregistrés avec l'accord des participantes et participants. Le contenu du questionnaire s'articulait autour de trois axes :

- 1) Utilisations du sous-sol dans le canton concerné : utilisations établies et futures
- 2) Conflits et synergies entre les utilisations identifiées
- 3) Stratégie Sous-sol Suisse et plan d'action : priorités et rôle propre

Les utilisations du sous-sol identifiées ainsi que les synergies et conflits perçus par les personnes interrogées ont été notés sur des flipcharts dans le cas des entretiens en face à face ou partagés directement en ligne sur la plateforme de collaboration en ligne *Miro* dans le cas des entretiens en ligne. Les personnes interrogées ont pu suivre la création de ces documents pendant l'entretien et les valider à la fin de l'interview.

Tableau 6 : liste des partenaires interrogés par canton et groupe d'acteurs (représentation réalisée par nos soins).

	Autorités cantonales (n=5)	Industrie (n=7)	Associations/coopératives (n=6)
Argovie (N=6)	<ul style="list-style-type: none">• Département Bau, Verkehr und Umwelt (Département construction, transports et environnement), service environnement• Département Bau, Verkehr und Umwelt (Département construction, transports et environnement), service aménagement du territoire	<ul style="list-style-type: none">• Eniwa AG• KIBAG*• Eberhard und Partner AG	<ul style="list-style-type: none">• Verband Kies- und Betonproduzenten (Association des producteurs de graviers et de béton)• Verband Geothermische Energie Aargau (Association Énergie géothermique Argovie)
Vaud (n=6)	<ul style="list-style-type: none">• Direction générale de l'environnement• Direction générale du territoire et du logement	<ul style="list-style-type: none">• Groupe Orlatti• Hydro-Géo	<ul style="list-style-type: none">• Association des géotechniciens et des géologues vaudois• Association vaudoise des graviers et déchets

Zurich (n=6)	<ul style="list-style-type: none"> • Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (Office pour les déchets, les eaux, l'énergie et l'air) • Amt für Raumentwicklung (Office pour l'aménagement du territoire) 	<ul style="list-style-type: none"> • KIBAG* • Cargo Sous Terrain* 	<ul style="list-style-type: none"> • Geothermische Kraftwerke Zürich (Centrales géothermiques Zurich) • Nagra*
--------------	---	---	--

**Note : les organisations marquées d'un astérisque sont actives sur le plan (inter)national et implantées sur différents sites. Dans le cadre de ce projet, elles ont été principalement interrogées sur les activités et utilisations dans le canton correspondant.*

Les réseaux d'utilisations du sous-sol, de conflits et de synergies établis pendant les entretiens ainsi que les notes détaillées relatant les entretiens ont servi de base à l'évaluation des entretiens. Les aspects concernant la stratégie Sous-sol Suisse et un possible plan d'action au niveau de la Confédération ont été examinés au moyen d'une analyse inductive, qualitative et de contenu.¹⁸ Les synergies et conflits entre les utilisations du sous-sol, qui ont été cités ont été transférés dans une matrice d'adjacence (c.-à-d. une matrice avec des relations dichotomiques). La valeur « 1 » est codée pour la présence d'une relation entre deux unités, ce qui signifie dans ce cas la présence d'une relation de conflit ou de synergie entre deux utilisations. La valeur « 0 » représente l'absence d'une telle relation.¹⁹

Dans un deuxième temps, la matrice est convertie et visualisée sous forme de réseau avec le logiciel R, employé pour les calculs statistiques et la création de graphiques. De plus, le réseau a été analysé en se basant sur des méthodes quantitatives d'analyse des réseaux sociaux (Social Network Analysis - SNA) auxquelles on a recours pour étudier des réseaux sociaux.²⁰ Il est possible de mesurer différentes valeurs de centralité entre des unités et leurs relations afin de localiser les unités les plus centrales dans le réseau. Dans ce travail, les différentes utilisations du sous-sol sont définies comme unités, et les conflits ou de synergies entre les utilisations comme relations. Grâce au paramètre de réseau Centralité de degré, il a été calculé quelles utilisations du sous-sol présentent le plus de conflits et/ou synergies avec d'autres utilisations. La largeur de la ligne de liaison entre deux utilisations du sous-sol est déterminée par le nombre de mentions (cf. figures 2-9). Plus une ligne de liaison entre deux utilisations du sous-sol est large, plus le nombre de personnes ayant cité cette relation de conflit est important. Une ligne de liaison très fine indique ainsi une seule mention. De plus, la taille et la couleur des points représentant une utilisation du sous-sol dépendent du nombre de conflits identifiés avec d'autres utilisations. Si une utilisation présente de nombreux conflits, un gros point foncé est représenté alors qu'il est petit et clair s'il y a peu de conflits.

Les réseaux de conflits et de synergies ont été calculés par cantons et pour toutes les personnes interrogées. Ceux-ci sont représentés et interprétés dans les chapitres suivants. De plus, des réseaux par catégorie professionnelle (représentantes et représentants cantonaux, industrie et associations) ont été créés et figurent dans l'annexe 1-3.

Après la création, l'analyse et l'interprétation des réseaux de conflits et de synergies, trois entretiens de validation ont été menés avec des spécialistes du sous-sol. Deux des partenaires interrogés venaient d'organisations spécialisées dans l'aménagement du sous-sol : International Tunnelling and Underground Space Association Committee on Underground Space (ITACUS) et Fachkreis Raumplanung im Untergrund (FRU). Il a également été fait appel à une autre personne ayant pour domaine d'expertise l'hydrologie à l'Université de Neuchâtel. Les trois personnes interrogées se distinguent par leur expertise nationale et internationale dans le domaine de l'utilisation et de la protection du sous-sol. Au cours de ces entretiens, nous leur avons présenté nos résultats de réseaux, enregistré les réactions des spécialistes et nous leur avons demandé d'interpréter et de contextualiser les résultats. Nous avons pu ainsi valider nos constats et interprétations.

¹⁸ Kuckartz, 2019.

¹⁹ Trappmann et al., 2011.

²⁰ Prell, 2011.

2.2.3 Résultats

2.2.3.1 Canton de Vaud

Dans le canton de Vaud, une stratégie pour une utilisation durable du sous-sol est actuellement en cours d'élaboration (sous la direction du service cantonal de l'environnement). L'objectif est de permettre une utilisation globale et collaborative du sous-sol entre différents secteurs. Dans le but de faciliter la prise de décisions entre plusieurs offices et secteurs de l'industrie, la stratégie cantonale doit identifier et prioriser les besoins essentiels en infrastructures et les sites concernés. Pour cela, une ébauche commune pour une vision cantonale et une feuille de route sont conçues en interne, puis suivra une consultation avec différents acteurs externes à l'administration cantonale. La difficulté est de concilier aménagement durable du territoire, transition énergétique et stratégie climatique pour pouvoir, sur cette base, élaborer une politique du sous-sol.

Conflits d'utilisation du sous-sol

Dans le canton de Vaud, ce sont les infrastructures souterraines de transport qui, selon les personnes interrogées, créent le plus de conflits avec d'autres utilisations du sous-sol (70,8 % de toutes les relations possibles). En deuxième position des utilisations se trouvent l'eau souterraine, les découvertes archéologiques et les conduites souterraines qui entrent, elles aussi, en conflit avec d'autres utilisations (67 % de toutes les relations). Les cas concrets suivants de relations conflictuelles ont été cités par plusieurs personnes interrogées :

- *Entre la géothermie peu profonde / profonde et les eaux souterraines*

Lors de forages pour la récupération de l'énergie thermique, il existe des risques techniques de pollution ou de réchauffement de l'eau souterraine, qui ont été mentionnés par différentes personnes interrogées. En raison de ces risques, il est actuellement impensable, selon les personnes interrogées, de récupérer de l'énergie thermique dans des zones contenant de l'eau potable. Le conflit potentiel pour l'utilisation est déjà fortement règlementé étant donné que la loi sur la protection des eaux²¹ et l'Ordonnance sur la protection des eaux de la Confédération²² donne la priorité à la protection de l'eau souterraine par rapport à d'autres intérêts. Pourtant, selon les personnes interrogées, cette priorisation claire de l'eau souterraine doit être remise en question dans le contexte de la transition énergétique et des besoins croissants en énergie renouvelable.

- *Entre la géothermie peu profonde / profonde et des infrastructures souterraines de transport*

Des conflits pour lesquels il faut faire une pesée d'intérêts sont également notés entre la géothermie (peu profonde et profonde) et les infrastructures souterraines de transport. Selon les partenaires interrogés, les infrastructures souterraines de transport, telles que les tunnels, utilisent en général la même couche du sous-sol que la géothermie peu profonde. Dans le cas de la géothermie profonde, les installations nécessaires doivent traverser la couche peu profonde du sous-sol à travers laquelle pourraient également être implantées des infrastructures souterraines de transport.

- *Entre découvertes archéologiques et infrastructures souterraines de transport*

Lors de travaux d'excavation pour la construction d'infrastructures souterraines de transport, il est possible que des découvertes archéologiques soient faites. Dans le canton de Vaud, les découvertes archéologiques sont priorisées, ce qui peut ralentir et renchérir les projets de construction d'infrastructures (de transport) souterraines.²³ Malgré les multiples mentions de ce conflit, il n'est pas classé comme prioritaire.

La figure 2 montre le réseau des conflits entre les utilisations du sous-sol dans le canton de Vaud. Plus le nombre de conflits identifiés pour une utilisation du sous-sol est élevé, plus le point correspondant est gros et foncé. Les utilisations présentant peu de conflits sont représentées par des points clairs et

²¹ Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux ; RS 814.20).

²² Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux ; RS 814.201).

²³ Loi sur la protection du patrimoine culturel immobilier (LPrPCI ; 451.16).

de petite taille. Une ligne de liaison épaisse entre deux utilisations indique que plusieurs partenaires interrogés ont identifié cette relation (citation multiple) tandis qu'une ligne de liaison très fine indique une seule citation.

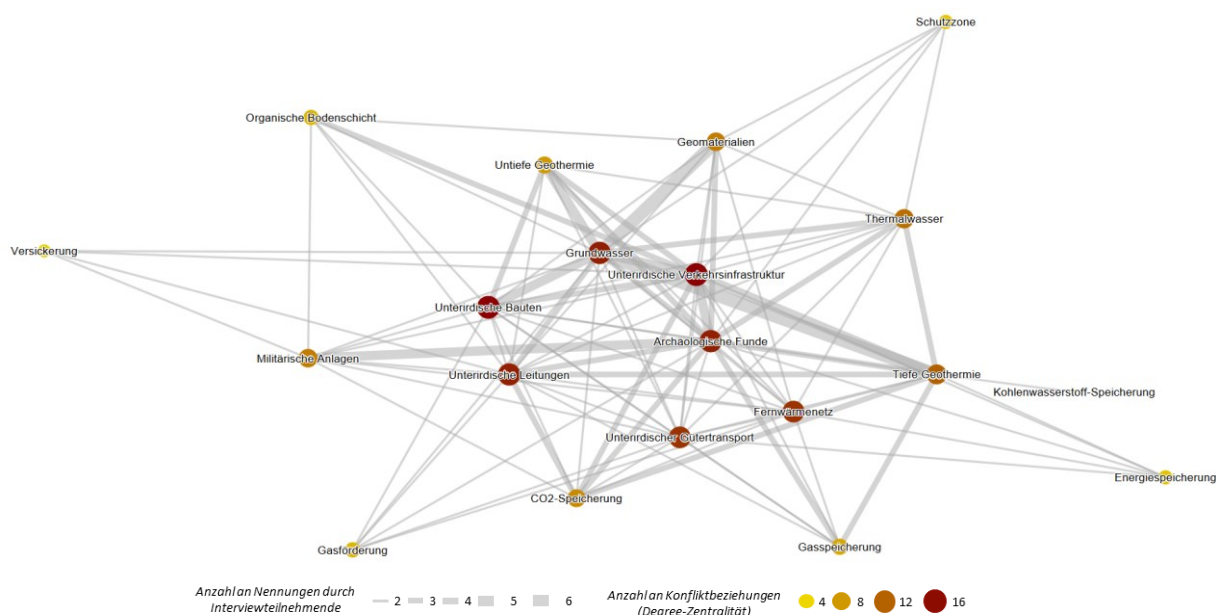


Figure 2 : réseau des conflits entre les utilisations du sous-sol dans le canton de Vaud, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales, l'industrie et les associations locales (N=6). Créé avec le logiciel R.

Synergies entre les utilisations du sous-sol

Bien que les infrastructures souterraines de transport présentent le plus de relations conflictuelles avec d'autres utilisations du sous-sol, elles se trouvent également au centre de relations synergétiques avec d'autres utilisations (62,5 % de toutes les relations possibles). Les géomatériaux occupent la deuxième place des relations de synergies avec d'autres utilisations (54,2 % de toutes les relations possibles). En outre, les synergies suivantes entre les utilisations ont été identifiées par la majorité des partenaires interrogés :

- *Entre les infrastructures souterraines de transport et la géothermie peu profonde / profonde*

Selon les partenaires interrogés, il existe un potentiel d'utilisation commune des infrastructures (de transport) souterraines et de la chaleur produite par géothermie. Mais ce potentiel est actuellement rarement exploité étant donné qu'il existe des obstacles lors de la coordination commune des projets, par ex. concernant la durée du projet, sa planification ou les responsabilités. Par conséquent, la mise en œuvre de ce type de synergies est complexe et demande des ressources supplémentaires ainsi qu'une forte volonté de mise en œuvre de la part des responsables du projet.

- *Entre les infrastructures souterraines de transport et les géomatériaux*

Les déblais d'excavation lors de la construction d'infrastructures (de transport) souterraines pourraient, selon leur nature, être réutilisés directement comme matériau de construction. De plus, les déblais provenant des infrastructures permettent le remblaiement et la constitution de remparts de protection.

- *Entre les géomatériaux, les infrastructures souterraines de transport, les constructions souterraines et les découvertes archéologiques*

Lors de l'excavation de géomatériaux à des fins de construction ou pour la construction d'infrastructures (de transport) souterraines et d'ouvrages, des découvertes archéologiques sont souvent faites. L'archéologie profite donc des projets d'utilisations du sous-sol.

- *Entre les géomatériaux et les décharges*

Lors de la fermeture d'une carrière, il est courant, selon les personnes interrogées, que le site soit remblayé avec des déchets de décharge. Il existe donc une forte synergie entre les deux utilisations.

Globalement, il n'existe pas de triades (constellation de trois unités) dans le réseau des synergies ni d'autres constellations fermées qui pourraient indiquer des cycles d'économie circulaire. Outre les relations de synergies entre des utilisations individuelles, l'exploration du sous-sol se démarque cependant comme synergie systémique commune à toutes les utilisations. Les personnes interrogées sont d'accord sur le fait que l'exploration du sous-sol profond est, en particulier, d'une importance centrale pour toutes les utilisations ; toutes les utilisations profiteraient d'un meilleur socle de données et donc d'une meilleure compréhension en vue des différentes options d'utilisation. Étant donné que l'exploration en elle-même n'est pas une utilisation à proprement parler mais une condition préalable ou le résultat de différentes utilisations, il n'est pas possible de la représenter visuellement dans l'analyse des réseaux.

La figure 3 montre le réseau des synergies entre les utilisations du sous-sol dans le canton de Vaud. Plus le nombre de synergies identifiées pour une utilisation du sous-sol est élevé, plus le point correspondant est gros et foncé. Les utilisations présentant peu de synergies sont représentées par des points clairs et de petite taille. Une ligne de liaison épaisse entre deux utilisations indique que plusieurs partenaires interrogés ont identifié cette relation (citation multiple) tandis qu'une ligne de liaison très fine indique une seule citation.

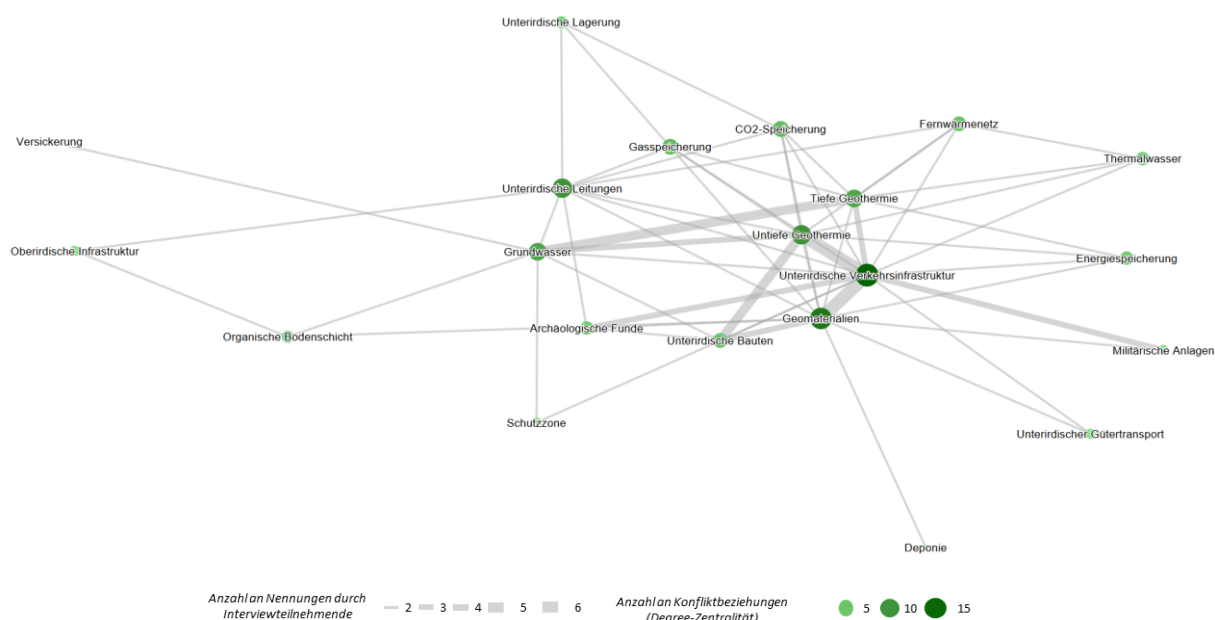


Figure 3 : réseau des synergies entre les utilisations du sous-sol dans le canton de Vaud, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales, l'industrie et les associations locales (N=6). Créé avec le logiciel R.

2.2.3.2 Canton de Zurich

Jusqu'à maintenant, le canton de Zurich n'a pas de stratégie pour son propre sous-sol. Le sous-sol est examiné essentiellement de façon ponctuelle, par exemple pour la planification d'une décharge ou sous forme de rapports sur les matières premières, mais il ne fait pas l'objet d'une planification globale. Une stratégie pour le sous-sol pourrait, selon les personnes interrogées, donner aux entreprises ayant des projets dans le sous-sol la sécurité nécessaire pour la planification. Du point de vue des partenaires cantonaux interrogés, il est tout d'abord nécessaire de disposer de connaissances plus approfondies pour pouvoir encourager de manière ciblée les innovations grâce à une stratégie cantonale. Les utilisations importantes du sous-sol pour le canton se trouvent, de plus, selon eux, au début de leur développement technologique (la géothermie profonde, par ex.), ce qui rend leur faisabilité encore incertaine. Dans le même temps, les partenaires interrogés sont conscients qu'il serait possible, en concrétisant certaines utilisations (Cargo Sous Terrain ou dépôt en couches géologiques profondes), d'« établir des faits ».

Conflits d'utilisation du sous-sol

La figure 4 montre le réseau des conflits entre les utilisations du sous-sol dans le canton de Zurich. Comme dans le canton de Vaud, les infrastructures souterraines de transport présentent, elles aussi, dans le canton de Zurich le plus grand nombre de relations conflictuelles avec d'autres utilisations du sous-sol (46,2 % de toutes les relations possibles). Dans les deux cantons, l'eau souterraine occupe la seconde place des conflits avec d'autres utilisations (38,5 % de toutes les relations possibles). Il est remarquable que dans le cas du canton de Zurich, ces deux utilisations du sous-sol figurent dans un nombre bien moins élevé de relations conflictuelles que dans le canton de Vaud. Ce phénomène s'explique par le fait que les personnes interrogées dans le canton de Zurich ont identifié de manière générale moins de relations conflictuelles dans le sous-sol, ce qui aboutit à une densité plus faible du réseau des conflits (c.-à-d. que parmi toutes les relations possibles, peu ont été observées). La plus faible densité du réseau ne signifie cependant pas obligatoirement qu'il existe véritablement moins de conflits d'utilisation dans le sous-sol zurichois ; elle pourrait aussi indiquer une autre perception des conflits de la part des personnes interrogées.

S'y ajoutent deux autres utilisations du sous-sol spécifiques au canton de Zurich, à savoir le transport souterrain des marchandises et le dépôt en couches géologiques profondes. Le système de transport souterrain de marchandises prévu par l'entreprise Cargo Sous Terrain, notamment, pourrait à l'avenir entrer en conflit avec de nombreuses autres utilisations du sous-sol (38,5 % de toutes les relations possibles). Le dépôt en couches géologiques profondes a été également cité plusieurs fois comme future utilisation du sous-sol ayant un potentiel de conflit (19,2 % de toutes les relations possibles), notamment en lien avec la géothermie profonde, les géomatériaux et l'eau souterraine. Les relations conflictuelles identifiées le plus souvent par les personnes interrogées sont expliquées plus en détail ci-après :

- *Entre les infrastructures souterraines de transport et l'eau souterraine*

Un nombre croissant de projets d'infrastructures souterraines de transport est, selon les personnes interrogées, planifié dans le sous-sol pour résoudre entre autres des conflits à la surface concernant l'aménagement du territoire. Il existe déjà dans ce domaine une pondération de plusieurs objectifs sociétaux (c.-à-d. que des infrastructures de transport sont abandonnées au profit d'autres options d'utilisation dans le sous-sol). Du point de vue des personnes interrogées, ce type de mise en balance doit également avoir lieu, dans le sous-sol, entre les infrastructures de transport et l'eau souterraine (ceci s'applique également entre le transport souterrain de marchandises et l'eau souterraine, pour plusieurs personnes interrogées). Étant donné que les mêmes couches du sous-sol sont concernées, les conduites d'eau souterraine entrent en conflit avec les infrastructures de transport. Selon l'opinion de différentes personnes interrogées, il serait possible avec une évaluation plus différenciée, par ex. concernant la qualité de l'eau souterraine, de comparer, dans certains cas, l'utilisation de l'eau souterraine – malgré son importance capitale pour la société – à d'autres utilisations. Une distribution résiliente de l'eau souterraine pourrait, à leur avis, être assurée par une approche collaborative au lieu de sécuriser les ressources d'eau souterraines de manière individuelle et locale.

Pour d'autres personnes interrogées en revanche, la protection de l'eau souterraine devrait être étendue. Bien que celle-ci jouisse d'une priorité élevée dans le canton de Zurich comme dans toute la Suisse (notamment par le biais de la loi sur la protection des eaux), l'eau souterraine est insuffisamment protégée selon certaines personnes interrogées. Par exemple, la loi des 10 % pour la protection des conduites d'eau souterraine est, selon elles, contournée par des mesures techniques (pour la perméabilité). Les personnes interrogées sont d'avis que des recherches supplémentaires sur l'eau souterraine sont également nécessaires, par ex. concernant l'influence des sites contaminés, zones industrielles ou anciennes installations de stockage de gaz.

- *Entre les constructions souterraines et l'eau souterraine*

Les constructions souterraines se trouvent majoritairement à env. 50 mètres sous la surface terrestre et sont donc dans la couche quaternaire (dépôt de roches meubles) où se situent les flux d'eau souterraine. Il existe donc un recoupement entre les zones urbaines et industrielles d'une part et les zones d'eau souterraine d'autre part. Les personnes interrogées supposent que les activités de construction

vont encore augmenter, notamment dans les agglomérations urbaines, ce qui constitue un défi pour la régénération de la nappe phréatique par infiltration.

On sait généralement peu de choses sur les installations militaires construites en souterrain, ce qui rend difficile une planification en trois dimensions du sous-sol.

- *Entre la géothermie peu profonde et les infrastructures souterraines de transport*

Les sondes géothermiques sont déjà bien établies dans le canton de Zurich (l'hôpital Triemli a été cité comme exemple de grand projet sur le site duquel 110 sondes géothermiques ont été installées). Mais elles pourraient générer des conflits lors de la construction d'infrastructures de transport. La ligne diamétrale Altstetten-gare de Zurich-Oerlikon dans la ville de Zurich en est un exemple : en raison du tracé de la ligne, des sondes géothermiques ont dû être retirées. Les pompes à chaleur peuvent, elles aussi, être déplacées, ce qui permet de résoudre le problème de conflit selon les personnes interrogées. Ces dernières supposent que les transports seront de plus en plus déplacés dans le sous-sol; ce qui pourrait conduire à un « stress de promiscuité » au niveau du sous-sol. Elles ont cité, dans ce contexte, la ville de Helsinki qui a fixé des zones horizontales et verticales pour l'utilisation future du sous-sol.

- *Entre l'eau souterraine et les dépôts en couches géologiques profondes*

Selon les explications de plusieurs personnes interrogées, les utilisations de l'eau souterraine et le dépôt en couches géologiques profondes des substances radioactives entrent en conflit, notamment en raison du risque de contamination (surtout si les substances ne sont pas encore confinées). De plus, le stockage de substances radioactives exclut d'autres utilisations. Enfin, pour le dépôt en couches géologiques profondes, une zone plus grande que nécessaire est réservée pour conserver de l'espace pour permettre une construction optimale du futur dépôt en couches géologiques profondes.

- *Entre le dépôt en couches géologiques profondes et la géothermie profonde*

La mise en réserve d'une zone pour le dépôt en couches géologiques profondes pourrait également entrer en conflit avec la géothermie profonde : le dépôt en couches géologiques profondes doit être préservé de toutes secousses telles qu'elles se produisent dans le cadre des forages géothermiques. Mais la probabilité d'un tel conflit est faible étant donné que les centrales de géothermie profonde sont plutôt construites à proximité de zones fortement peuplées.

- *Entre les dépôts en couches géologiques profondes et les géomatériaux*

Lors de la planification d'un dépôt en couches géologiques profondes, il faut prendre en compte les géomatériaux et les extraire, le cas échéant. Dans le canton de Zurich, cela concerne par ex. l'extraction des graviers, les réserves d'hydrocarbures (veines de charbon) au nord du canton et potentiellement également l'extraction de sel.

- *Entre l'eau souterraine et la géothermie peu profonde*

L'exploitation de la chaleur et l'utilisation de l'eau souterraine ont lieu toutes les deux dans la même couche du sous-sol. Il existe donc un risque que les conduites d'eau souterraine soient contaminées. Une pesée du pour et du contre entre ces utilisations a déjà lieu et il est possible que des zones soient réservées à une utilisation donnée.

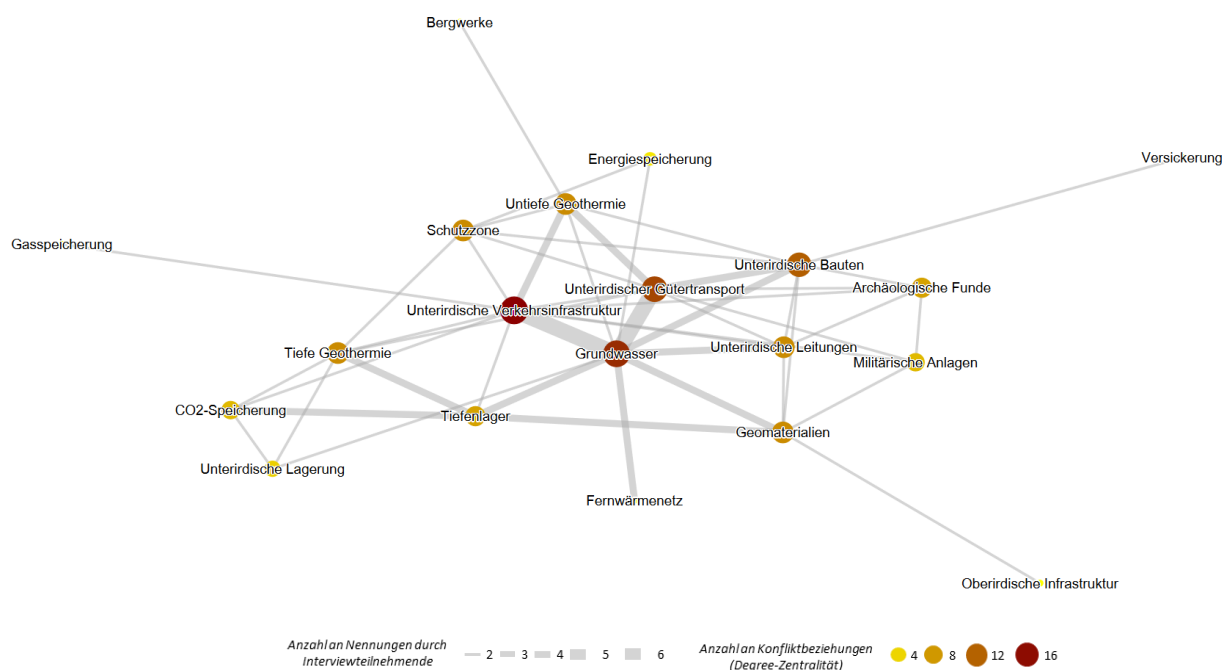


Figure 4 : réseau des conflits entre les utilisations du sous-sol dans le canton de Zurich, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales, l'industrie et les associations locales (N=6). Créé avec le logiciel R.

Synergies entre les utilisations du sous-sol

La figure 5 montre le réseau des synergies entre les utilisations du sous-sol dans le canton de Zurich. Dans le canton de Zurich comme déjà dans le canton de Vaud, on remarque que les utilisations du sous-sol ayant de nombreuses relations de conflit – lors d'une planification prévisionnelle – peuvent également présenter des synergies avec d'autres utilisations. Bien que des constructions souterraines puissent générer des conflits avec d'autres utilisations du sous-sol, elles présentent aussi toute une série de synergies possibles, par exemple avec l'extraction de géomatériaux ou le stockage souterrain (36 % de toutes les relations possibles). Ce sont notamment les utilisations avec une infrastructure conçue horizontalement, comme les conduites souterraines (32 % de toutes les relations possibles), le transport souterrain de marchandises (28 % de toutes les relations possibles) ou les infrastructures souterraines de transport (20 % de toutes les relations possibles) qui peuvent souvent être planifiées pour être multifonctionnelles. En comparaison avec les autres cantons, le canton de Zurich a identifié le plus faible nombre de synergies. Le réseau des synergies présente, par conséquent, une faible densité. Comme pour le réseau des conflits du canton de Zurich, les raisons en sont floues. La plupart des synergies citées entre les utilisations du sous-sol, qui ont été identifiées par les personnes interrogées, sont abordées plus en détail dans la partie suivante :

- *Entre les conduites souterraines et les infrastructures souterraines de transport*

Selon les personnes interrogées, il existe, entre les conduites souterraines et les infrastructures souterraines de transport, un haut potentiel de synergie qui devrait être encouragé de manière active. Lors de la construction de tunnels pour les transports (même pour le transport de marchandises), il est possible de poser en même temps des conduites (par ex. conduites d'eau souterraine, canalisations et conduites de chauffage à distance). Il est ainsi possible de combiner des infrastructures. Cela est déjà le cas aujourd'hui. Par ex. les tunnels des CFF sont utilisés de manière multiple. Pour les personnes interrogées, il est primordial lors d'un projet de penser à d'autres utilisations possibles afin de prévenir des problèmes d'encombrement du sous-sol.

- *Entre l'eau souterraine et la géothermie profonde*

Étant donné que l'eau souterraine près de la surface est généralement facilement exploitable, l'eau souterraine profonde pourrait être utilisée autrement selon quelques personnes interrogées. On pourrait par exemple profiter de la synergie potentielle entre l'eau souterraine profonde et la géothermie profonde. L'eau souterraine profonde pourrait tout d'abord servir à la production de chaleur, puis, si

cela est possible, être traitée pour fournir de l'eau potable, ce qui constituerait une utilisation circulaire de la ressource « eau souterraine ».

- *Gain d'informations comme synergie indirecte entre toutes les utilisations*

Lors des forages et explorations du sous-sol, des données et connaissances importantes sont recueillies. Celles-ci pourraient être utiles pour toutes les utilisations potentielles du sous-sol. C'est ainsi que les forages pétroliers dans les années 60 à 80 ainsi que les forages d'essai de la Nagra ont permis d'acquérir des renseignements importants sur le sous-sol. Pour les personnes interrogées, il s'agit d'une synergie d'une grande importance puisqu'une augmentation des connaissances sur le sous-sol permet également une meilleure planification pour celui-ci.



Figure 5 : réseau des synergies entre les utilisations du sous-sol dans le canton de Zurich, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales, l'industrie et les associations locales (N=6). Créé avec le logiciel R.

2.2.3.3 Canton d'Argovie

Comme dans le canton de Zurich, les partenaires cantonaux interrogés dans le canton d'Argovie considèrent le manque d'informations et de connaissances sur le sous-sol comme un obstacle à une stratégie cantonale concernant le sous-sol. Il est difficile de dire par exemple à quoi pourrait ressembler concrètement un aménagement durable du sous-sol. Une condition indispensable à cela est de posséder des informations sur les infrastructures planifiées et existantes ainsi que sur la nature du sous-sol. Tandis que, selon les partenaires interrogés, la loi cantonale sur le sous-sol et la loi sur la protection des eaux constituent une bonne base de départ, d'autres personnes interrogées déplorent le fait que des aspects importants ne sont pas suffisamment abordés, par ex. la priorisation des utilisations du sous-sol, les limitations ou encore les synergies.

Conflits d'utilisation du sous-sol

La figure 6 montre le réseau des conflits entre les utilisations du sous-sol dans le canton d'Argovie. En comparaison des cantons de Vaud et de Zurich, l'eau souterraine dans le canton d'Argovie présente le plus de relations conflictuelles avec d'autres utilisations du sous-sol (46,2 % de toutes les relations possibles), selon les personnes interrogées. Celle-ci entre notamment en conflit avec la géothermie peu profonde, la géothermie profonde et les décharges. La seconde place est occupée par l'eau ther-

male avec 42,3 % de toutes les relations, sachant qu'il existe ici quelques mentions isolées qui expliquent cette centralité plutôt élevée dans le réseau des conflits.

Le réseau des conflits du canton d'Argovie présente le nombre le plus faible de relations conflictuelles entre les utilisations du sous-sol et affiche donc la densité de réseau la plus faible parmi les trois cantons étudiés (c.-à-d. que parmi toutes les relations possibles, seules un petit nombre d'entre elles a été observé). Cela peut être en rapport avec le fait que pour toutes les personnes interrogées du canton d'Argovie, l'eau souterraine jouait un rôle central dans la discussion sur les conflits d'utilisation. Cela se reflète par le fait que l'eau souterraine se démarque comme étant l'utilisation ayant la majorité des relations conflictuelles. Une autre différence réside dans le fait que le canton d'Argovie a été envisagé, par le passé, comme possible site pour un dépôt en couches géologiques profondes mais qu'il n'est actuellement plus en tête de liste. Les relations conflictuelles identifiées le plus souvent par les personnes interrogées sont expliquées plus en détail ci-après :

- *Entre l'eau souterraine et la géothermie peu profonde / profonde*

Comme déjà dans le canton de Vaud, des risques techniques concernant la récupération de l'énergie thermique ont été également mentionnés en Argovie. D'une part, ces risques concernent la pollution de l'eau souterraine par des forages ainsi qu'un contact imprévu avec des réserves d'eau souterraine en raison du déport horizontal pour les forages plus profonds. Les variations de température pouvant être causées par l'utilisation de l'énergie thermique constituent un autre risque. Il est intéressant de constater que l'eau souterraine, et tout spécialement l'eau potable, est considérée comme une ressource fondamentale dans le canton d'Argovie. Selon les personnes interrogées, cette ressource doit continuer à être protégée légalement car la priorité absolue est de la garantir durablement.

- *Entre l'eau souterraine et les décharges / géomatériaux*

La protection et l'assurance de la qualité des zones d'eau souterraine jouent ici aussi un rôle important. La loi sur la protection des eaux interdit par exemple l'extraction de graviers dans les zones d'eau souterraine. Par conséquent, les utilisations telles que décharges et extraction de matériaux entrent directement en conflit avec les zones d'eau souterraine. Selon les personnes interrogées, cette réglementation ne doit pas être remise en question à l'heure actuelle étant donné que l'eau souterraine comme ressource est prioritaire.

- *Entre la géothermie peu profonde et les infrastructures souterraines de transport*

L'implantation de gares et tunnels souterrains a lieu généralement dans des couches peu profondes du sous-sol (jusqu'à une profondeur de 50 mètres). Par conséquent, il existe une revendication spatiale sur les zones qui pourraient également être forées pour utiliser la géothermie peu profonde et être équipées par exemple de sondes géothermiques. Plusieurs des personnes interrogées ont formulé des doutes quant à l'avenir des champs actuels de sondes géothermiques lors de la planification de nouvelles infrastructures souterraines de transport.

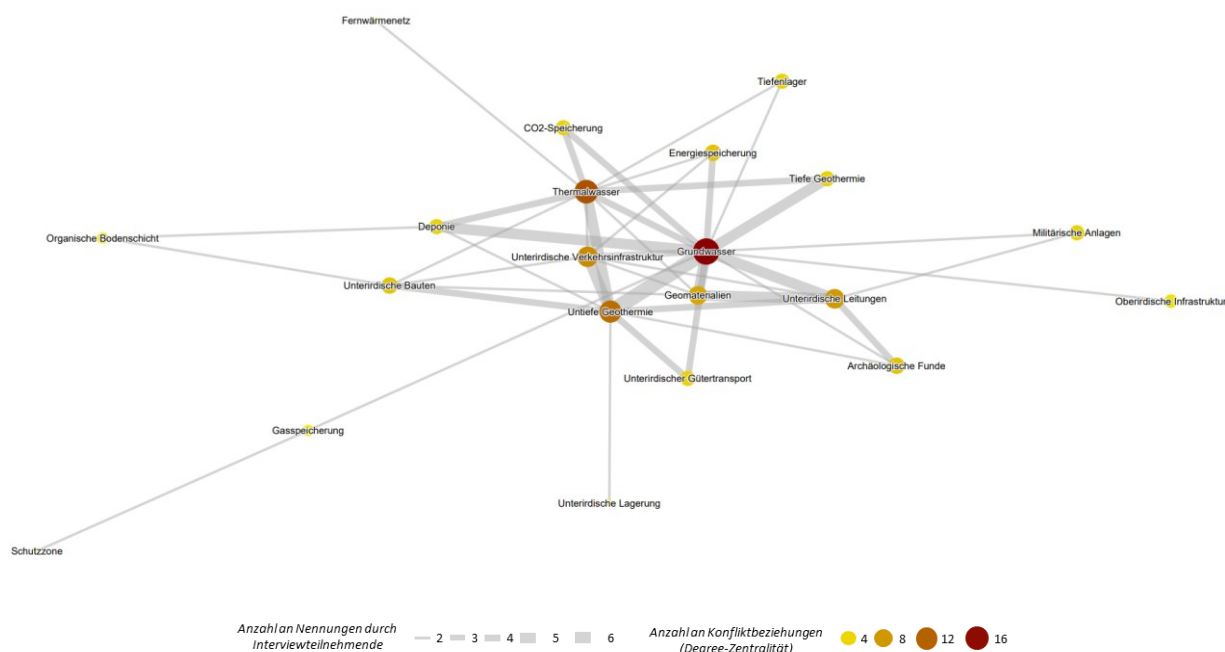


Figure 6 : réseau des conflits entre les utilisations du sous-sol dans le canton d'Argovie, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales, l'industrie et les associations locales (N=6). Créé avec le logiciel R.

Synergies entre les utilisations du sous-sol

La figure 7 montre le réseau des synergies entre les utilisations du sous-sol dans le canton d'Argovie. Le réseau des synergies du canton d'Argovie montre une plus grande uniformité concernant les relations de synergies entre les utilisations du sous-sol que dans les cantons de Zurich et de Vaud. Plusieurs utilisations présentent le même nombre de relations de synergies : l'extraction de géomatériaux et les infrastructures souterraines de transport représentent 30,8 % de toutes les relations possibles, tandis que la géothermie peu profonde et les conduites souterraines atteignent un score de 26,9 %. En parallèle, il existe une relation triangulaire entre les géomatériaux, les infrastructures souterraines et les conduites souterraines. Elle indique des synergies multifonctionnelles et relevant de l'économie circulaire. Cela signifie que trois utilisations peuvent être potentiellement planifiées en commun pour les synergies.

On remarque également que des utilisations multiples ou reconversions ont toujours été identifiées comme synergie dans le canton d'Argovie. Il existe différentes utilisations qui sont appropriées pour cela. Les constructions et infrastructures de transport souterraines qui permettent, lors d'une planification prévisionnelle, l'intégration d'autres utilisations telles que les conduites souterraines ainsi que la géothermie peu profonde et profonde et le stockage d'énergie, occupent une place centrale pour les utilisations multiples. Les constructions et infrastructures actuelles sont également utiles pour des reconversions, par exemple les galeries de tunnels ou carrières qui peuvent être reconverties, si besoin, pour de nouveaux projets. Ci-après sont décrites les synergies entre les utilisations du sous-sol qui ont été le plus souvent citées dans le canton d'Argovie :

- *Entre les géomatériaux, les infrastructures souterraines de transport et les conduites souterraines*

Une relation triangulaire de synergie existe entre ces trois utilisations du sous-sol. La synergie consiste en ce que les conduites souterraines peuvent être prévues et intégrées en même temps que les infrastructures (de transport) souterraines. Cela peut dans l'idéal permettre de désimperméabiliser des surfaces, ce qui est une condition nécessaire à la réalisation de certains projets, tels que les villes éponges²⁴ dans les zones urbaines. De plus, les infrastructures (de transport) souterraines nécessitent

²⁴ Pour de plus amples informations sur les villes éponges, cf. : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/ernaehrung-wohnen-mobilitaet/dossiers/magazin-2022-4-dossier/staedte-von-morgen-die-schwammstadt-als-antwort.html>.

des matériaux de construction qui peuvent provenir par exemple de l'extraction des géomatériaux. Par ailleurs, des espaces excavés suite à l'extraction de matériaux pour les constructions et infrastructures peuvent être reconvertis dans le sous-sol. Par conséquent, il s'agit de synergies en relation avec la multifonctionnalité et l'économie circulaire qui nécessitent toutefois d'être planifiées dès le début d'un projet.

- *Entre les géomatériaux et les constructions souterraines / infrastructures souterraines / infrastructures de surface*

Les constructions et projets d'infrastructures en sous-sol tout comme en surface nécessitent des matières premières, telles que pierre de taille, graviers, sable, etc. L'extraction de géomatériaux est donc une condition indispensable à la réalisation de tels projets. Selon une personne interrogée venant de ce secteur, une extraction primaire est obligatoire en Suisse car les technologies et processus de travail actuels ne permettent de recycler que 25 % des matériaux de construction au maximum. Il a été également mentionné que les exigences concernant les matières premières augmentent dans le domaine de la construction étant donné que la complexité de l'architecture s'accroît.

Un autre type de synergies concerne la réutilisation des exploitations implantées dans le sous-sol par des bâtiments et infrastructures en surface. Selon les personnes interrogées, une zone d'extraction de graviers a été reconvertie, par exemple, en site de production d'une coopérative dans le canton d'Argovie. Cependant, il a été souligné qu'il s'agissait d'une synergie ponctuelle, et qu'il reste incertain si de telles reconversions peuvent également être réalisées à d'autres endroits.

- *Entre la géothermie peu profonde et les infrastructures souterraines de transport / le transport souterrain de marchandises / le dépôt en couches géologiques profondes*

Lors de la construction d'infrastructures souterraines et de conduites pour les eaux usées, le potentiel de l'énergie thermique pourrait être exploité simultanément. De plus, le potentiel du dépôt en couches géologiques profondes des déchets radioactifs pour une récupération de chaleur est en cours de discussion car les substances stockées peuvent dégager une chaleur supplémentaire. La chaleur est donc considérée comme produit annexe qui pourrait être exploité lors d'une planification prévisionnelle.

- *Entre la géothermie peu profonde et l'eau souterraine*

Une technologie d'exploitation de la chaleur dans le sous-sol peu profond utilise des pompes d'eau souterraine qui récupèrent la chaleur des nappes souterraines. Ce système est déjà employé aujourd'hui dans des zones d'eau souterraine exploitables selon le droit des eaux. Il existe donc une synergie entre l'eau souterraine (si elle n'est pas protégée) et la géothermie peu profonde.

- *Entre le stockage d'énergie et la géothermie profonde*

La géothermie profonde comprend des forages à plus de 500 mètres qui peuvent même s'enfoncer à plusieurs kilomètres dans le sous-sol. Selon les personnes interrogées, ces couches plus profondes du sous-sol pourraient convenir à une utilisation multiple pour la récupération et le stockage de chaleur en raison de leurs spécificités géologiques. Ceci est perçu comme une synergie future.

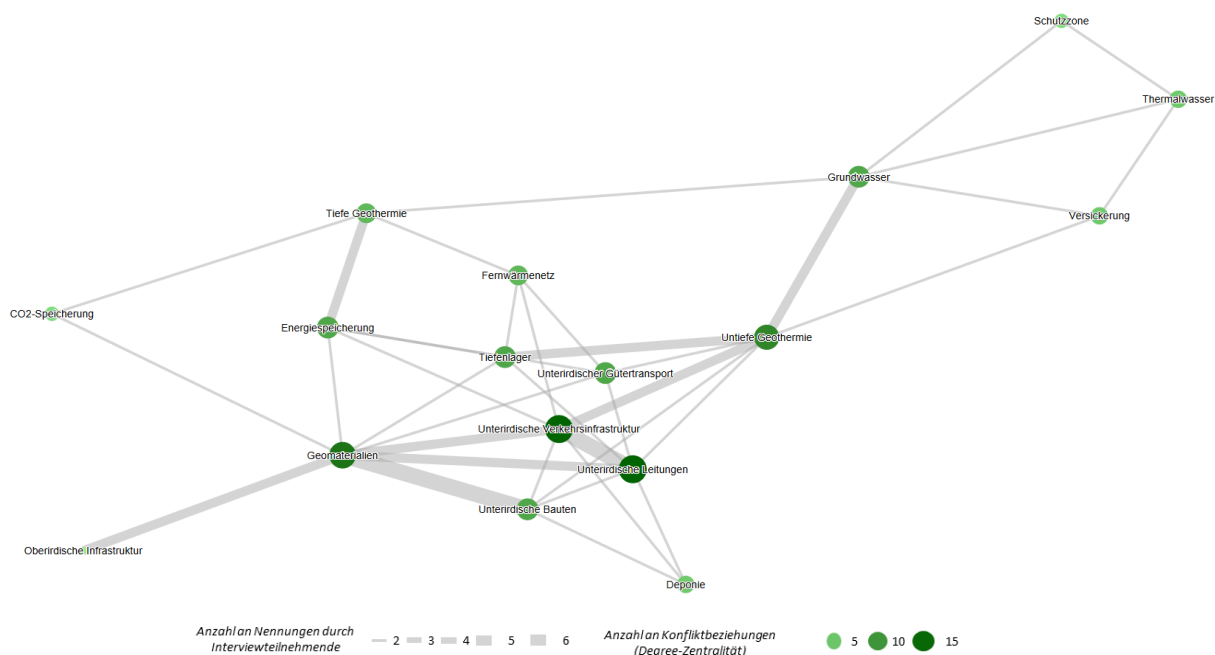


Figure 7 : réseau des synergies entre les utilisations du sous-sol dans le canton d'Argovie, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales, l'industrie et les associations locales (N=6). Créé avec le logiciel R.

2.2.3.4 Perception supracantonale des conflits et synergies concernant les utilisations du sous-sol

Outre les points de vue cantonaux spécifiques sur les conflits et synergies d'utilisation du sous-sol, on cherche également à dégager une perspective globale, supracantonale pour ainsi identifier les thèmes prioritaires qui valent pour tous les cantons examinés. Pour cela, les 18 entretiens ont été évalués et les données générées ont été utilisées pour créer un réseau global des conflits et synergies (figures 8 et 9) :

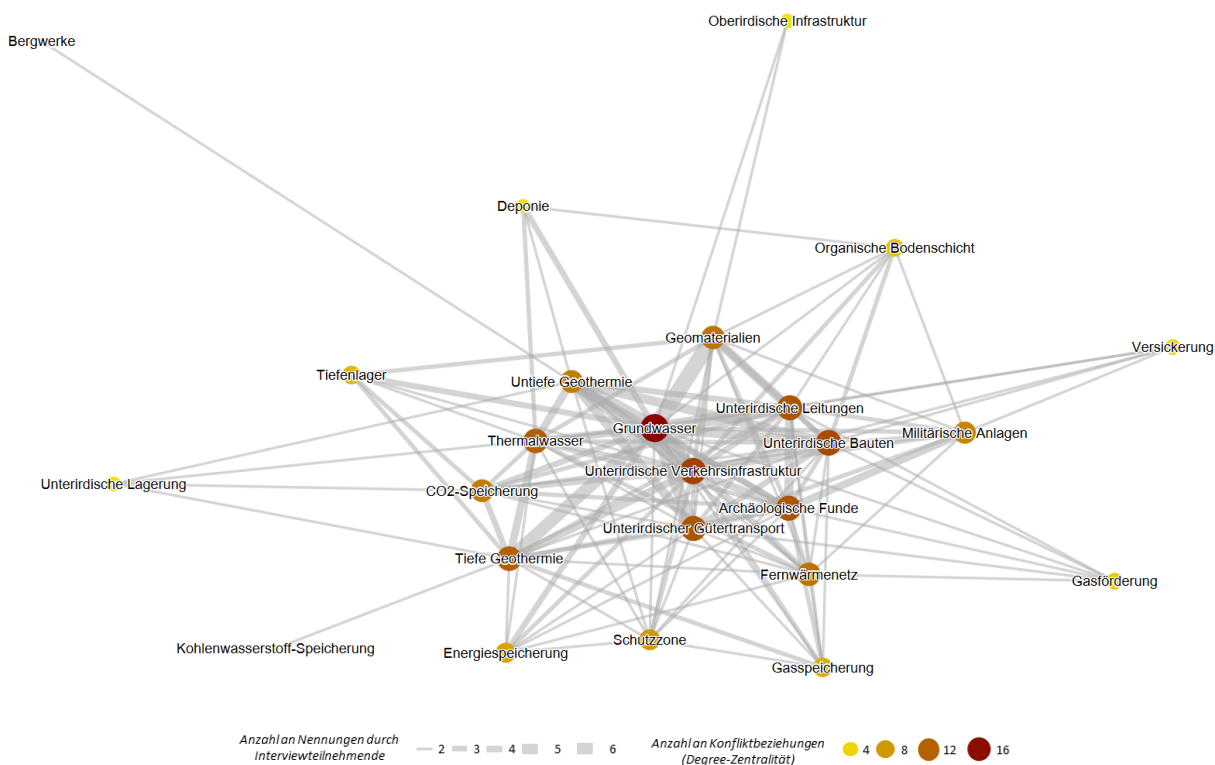


Figure 8 : réseau des conflits entre les utilisations du sous-sol dans tous les cantons examinés, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales, l'industrie et les associations locales (N=18). Créé avec le logiciel R.

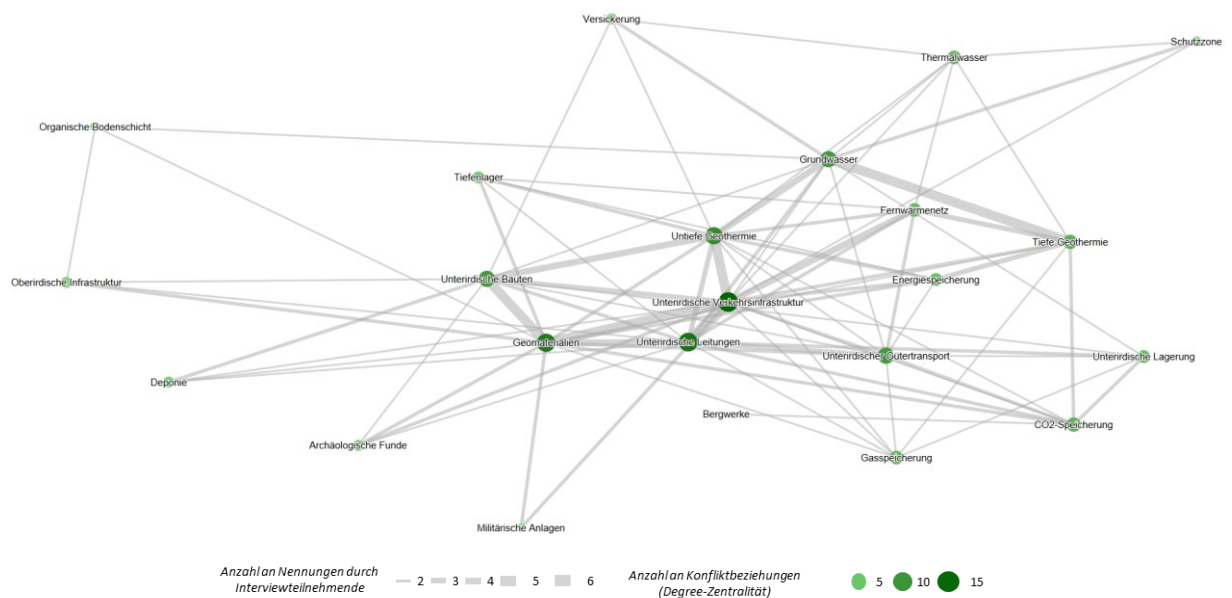


Figure 9 : réseau des synergies entre les utilisations du sous-sol dans tous les cantons examinés, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales, l'industrie et les associations locales (N=18). Créé avec le logiciel R.

L'évaluation globale des données des entretiens a permis d'identifier les thèmes supracantonaux suivants :

- *Eau souterraine*

L'eau souterraine reste, même dans une perspective globale, l'utilisation du sous-sol qui recèle le plus de relations conflictuelles avec les autres utilisations. Mais selon les personnes interrogées, l'eau souterraine et sa protection sont considérées de manière insuffisamment différenciée, ce qui provient principalement du fait que la nappe souterraine profonde, notamment, a été très peu étudiée jusqu'ici. Les entretiens montrent également que l'eau souterraine pourrait aussi renfermer un potentiel de synergie, par ex. avec la géothermie ou le stockage d'énergie (usages après lesquels l'eau souterraine extraite pourrait être utilisée comme eau industrielle).

- *Multifonctionnalité*

L'encouragement de la multifonctionnalité ou des utilisations multiples s'avère être un thème supracanton important. Premièrement, en regroupant des infrastructures conçues horizontalement, il est possible de prévenir à long terme le manque de place dans le sous-sol, un problème déjà de plus en plus fréquent dans les zones urbaines. Selon les personnes interrogées, il faut pour cela que les cantons prennent en compte activement les utilisations doubles ou multiples et les privilégient pour la conception de projets futurs, par ex. en intégrant des exigences correspondantes dans les procédures d'autorisation. Deuxièmement, les usages multiples liés à certaines utilisations du sous-sol sont également envisageables en plus du regroupement des infrastructures. Les géomatériaux extraits lors de la construction de tunnels peuvent par exemple servir aux constructions souterraines. Troisièmement selon certaines personnes interrogées, il faut envisager que les infrastructures souterraines puissent éventuellement servir à une utilisation ultérieure. Les anciennes constructions de tunnel ou de galeries militaires pourraient par exemple être reconverties pour servir de réservoirs thermiques saisonniers ou de centres de calcul souterrains. Quatrièmement, il faut toujours avoir à l'esprit que de nouveaux projets de recherche continuent à examiner le sous-sol et que la géoinformation et la mensuration pourraient ainsi être renforcées.

- *Protection versus utilisation*

Un autre thème abordé dans tous les cantons concerne les rapports tendus existant entre l'utilisation et la protection du sous-sol. Les personnes interrogées mettent en garde contre la seule application de la logique de rentabilité sans considérer la durabilité. C'est pourquoi elles ont plusieurs fois exigé la création de zones protégées. Cela implique que les zones protégées soient sur un pied d'égalité avec les utilisations du sous-sol. Selon les personnes interrogées, c'est d'autant plus important que nous disposons de peu de connaissances sur l'écosystème souterrain et qu'une intervention dans cet écosystème pourrait avoir des conséquences insoupçonnées sur l'être humain et la nature.

- *Concentration accentuée sur les conflits et synergies*

On remarque de manière générale que les personnes interrogées mentionnent moins souvent les potentiels de synergies que les conflits possibles. De plus, tous les réseaux de synergie présentent bien plus de mentions isolées, ce qui laisse à penser qu'une perspective holistique des possibilités de synergie entre les utilisations du sous-sol est encore sous-développée.

2.2.3.5 Attentes supracantoniales concernant le plan d'action

Durant la campagne d'entretiens du LdT2, les personnes interrogées ont été interviewées sur les conflits et synergies mais aussi sur les acteurs, les priorités thématiques et les mesures concrètes qui devraient être considérées, selon elles, pour l'élaboration du plan d'action. On peut retenir, d'une manière générale, que toutes les personnes interrogées saluent la stratégie Sous-sol Suisse et l'élaboration d'un plan d'action au niveau de la Confédération. Quelques-unes ont formulé l'espoir qu'outre la stratégie Sous-sol, le sous-sol soit aussi intégré à d'autres stratégies existantes. Cela pourrait avoir lieu dans le cadre d'une harmonisation et d'une coordination des règles et exigences relatives au sous-sol au niveau de la Confédération. Les paragraphes suivants résument les opinions et propositions des personnes interrogées, pour le plan d'action.

Acteurs importants pour l'élaboration du plan d'action et rôle de swisstopo

Les personnes interrogées s'accordent sur le fait que des acteurs de la politique, de l'économie et de la société doivent être impliqués dans l'élaboration du plan d'action. Un « *Underground-Action-Lab* » (laboratoire d'action pour le sous-sol) pourrait être créé, lequel participerait activement au processus d'élaboration, en tant que comité interdisciplinaire. Ce type de comité pourrait se composer de représentantes et représentants d'associations économiques et sectorielles, de compagnies de distribution d'énergie ainsi que de services cantonaux (par ex. énergie, environnement, géologie) et d'organes institutionnels ayant une compétence législative.

Les personnes interrogées ont cité les acteurs suivants pour l'élaboration du plan d'action :

- conseils exécutifs cantonaux, services, conférences cantonales
- offices fédéraux et commissions spécialisées (par ex. swisstopo, OFROU, CFG)
- communes
- expertes et experts (par ex. géologues, spécialistes en aménagement du territoire)
- instituts de recherche
- associations (par ex. pour l'économie, l'énergie, la géologie, la géothermie)
- entreprises (par ex. Cargo Sous Terrain, CFF, La Poste, Swissgrid, opérateurs de réseaux et de réseaux de transmission, etc.)

Le rôle de swisstopo dans le processus d'élaboration n'est pas clair pour les personnes interrogées. Pourtant en raison de son savoir-faire en matière de données géologiques, swisstopo est considéré comme un participant essentiel d'une commission ou d'une table ronde concernant le plan d'action. Certaines des personnes interrogées ont également associé swisstopo aux tâches suivantes :

- encouragement des synergies entre acteurs et utilisations
- soutien pour l'acceptation sociale des projets relatifs au sous-sol

- vision globale du sous-sol
- compétence pour les affaires et projets intercantonaux
- compétence de coordination dans le domaine de la collecte et de l'échange de données
- encouragement et soutien des cantons pour l'application du plan d'action

Axes thématiques du plan d'action

De manière générale, on remarque que les personnes interrogées souhaitent, d'une part, une plus grande clarté au niveau de la Confédération concernant les définitions, prescriptions et lignes directrices se rapportant au sous-sol mais soulignent, d'autre part, les compétences cantonales légales (comme la souveraineté cantonale sur le sous-sol public).

- *Compétences et responsabilités clairement définies*

Pour certaines personnes interrogées, il est important qu'il n'y ait pas trop de « fouillis » parmi les compétences et responsabilités relatives au sous-sol. Les cantons doivent continuer à conserver leur souveraineté pour l'aménagement du sous-sol, pour définir les procédures d'autorisation et adopter leurs propres lois pour l'utilisation du sous-sol. Mais il serait souhaitable, selon les personnes interrogées, que la Confédération fixe des conditions-cadre et des priorités servant de lignes directrices pour les cantons. De plus, la Confédération pourrait encourager une compréhension globale du sous-sol et présenter les opportunités et synergies. Il faudrait notamment clarifier les responsabilités respectives de l'État et du secteur privé. Selon les personnes interrogées, un ancrage légal des zones d'utilisation et de protection est également nécessaire.

- *Priorisation des intérêts publics pour le sous-sol*

Selon certaines personnes interrogées, la question du choix entre différentes utilisations du sous-sol et de leur priorisation devrait être clarifiée dans le plan d'action. La diversité des utilisations possibles du sous-sol va aller en s'accroissant (surtout dans les premiers 40-50 mètres et dans les zones urbaines). Une certaine hiérarchisation et un état des lieux des utilisations prioritaires du sous-sol seraient donc nécessaires. Étant donné qu'il existe différents intérêts politiques et divers objectifs concernant l'utilisation du sous-sol (par ex. zéro net, stockage d'énergie, extraction de l'énergie, mobilité, urbanisation, protection de l'eau souterraine, etc.), le plan d'action pourrait apporter une contribution importante pour la priorisation des utilisations du sous-sol. Il faudrait clarifier quelles stratégies sont importantes et pertinentes pour la société (climat, énergie, sécurité de l'approvisionnement, etc.) et comment soulever ces stratégies entre elles. Par exemple, un plan d'action pourrait clarifier quelles utilisations du sous-sol sont d'intérêt national et doivent éventuellement être coordonnées sur le plan national. Des priorités pourraient être fixées par des lignes directrices qui pourraient alors inciter les cantons à agir en conséquence. Cependant, les personnes interrogées s'accordent sur le fait que ce type de priorisation concernant différentes stratégies et leur pertinence sociétale nécessite un large soutien et ne peut pas être réalisé uniquement au niveau de la Confédération.

- *Vision nationale pour une utilisation durable du sous-sol*

Selon les personnes interrogées, le plan d'action est une sorte de vision et de guide expliquant comment le sous-sol suisse peut être exploité – par ex. concernant les questions écologiques, le réchauffement climatique, la biodiversité, la croissance de la population, etc. Une définition de ce que signifie la « durabilité » pour le sous-sol et donc une utilisation durable du sous-sol aurait une incidence directe sur la priorisation et la comparaison des différentes utilisations pour un aménagement durable. Il faudrait pour cela clarifier des questions importantes, par ex. combien de zones protégées et de zones d'utilisation sont nécessaires ou quelle surexploitation éviter. De plus, le plan d'action devrait défendre l'importance d'une vision durable globale et d'une approche complète du sous-sol vis-à-vis de la politique et de la société. Le sous-sol et ses ressources sont actuellement au cœur du débat politique sur les différentes utilisations (par ex. dépôt en couches géologiques profondes, Cargo Sous Terrain) mais ils ne sont pas représentés comme écosystème interdisciplinaire.

Certaines personnes interrogées pensent que le sous-sol devrait également être davantage inscrit à l'agenda des questions sociétales. La population doit être sensibilisée à l'importance du sous-sol.

Mesures

Selon les personnes interrogées, la compétence de réglementer le sous-sol revient à la Confédération afin de gérer durablement les multiples exigences d'utilisations qui se concurrencent. Mais il faudrait garantir des degrés de libertés dans l'application afin de tenir compte des différents stades de d'avancement des cantons concernant le sous-sol.

- *Bases légales*

Selon les personnes interrogées, des bases légales spécifiques sont nécessaires pour les constructions dans le sous-sol. Il faudrait renégocier par exemple les questions concernant la prise en charge des coûts d'un démantèlement ou la responsabilité en cas de dommages. Selon les personnes interrogées, des utilisations du sous-sol (par ex. eau souterraine, géomatériaux, infrastructures) dépassant les frontières du canton constituent un défi particulier. La Confédération devrait donc coordonner et soutenir les projets d'utilisations du sous-sol interrégionaux (comme c'est déjà le cas pour Cargo Sous Terrain) par des réglementations et directives nationales. La législation sur les chemins de fer a été citée comme exemple positif contenant une stratégie globale tandis que des procédures d'autorisations périphériques subsistent au niveau des communes. Mais jusqu'ici les utilisations interrégionales du sous-sol ne disposent pas toutes d'un plan directeur. Les personnes interrogées ont mentionné le secteur des matières premières à titre d'exemple à ce sujet. Étant donné que celui-ci assure l'approvisionnement en matières premières nationales et est donc d'intérêt national, un plan directeur serait justifié pour une réglementation nationale. De tels plans directeurs pourraient servir d'aide pour veiller à ce que les cantons traitent avec précaution les ressources centrales.

- *Modèles de prescriptions pour le sous-sol*

Selon les personnes interrogées, la Confédération devrait apporter son soutien aux cantons pour la réglementation du sous-sol. Elle pourrait faire des propositions de manière ciblée pour le traitement de certaines utilisations du sous-sol. Il devrait cependant s'agir de propositions concrètes et, le cas échéant, il faudrait travailler ici aussi avec des exemples de bonnes pratiques plutôt que des modèles obligatoires. Une possibilité serait d'avoir des modèles d'ordonnances pour le sous-sol sur la base desquels les cantons pourraient définir leur aménagement du sous-sol. Le « Modèle de prescriptions énergétiques des cantons » (MoPEC) a été cité comme exemple dans ce contexte. Les cantons pourraient s'accorder sur un « dénominateur commun » concernant les procédures d'autorisation dans le sous-sol et y intégrer des objectifs communs, par ex. qu'une certaine part de la production d'énergie ait lieu en sous-sol. Étant donné que les procédures ne sont pas suffisamment coordonnées à l'heure actuelle, les projets qui concernent deux territoires cantonaux ou plus ne sont pas priorisés, selon les personnes interrogées. Cela peut avoir pour effet de freiner l'innovation. Il serait donc envisageable d'avoir, au niveau de la Confédération, un cadastre des conduites qui montre les interfaces entre les cantons (y compris les conduites d'eau souterraine).

- *Feuille de route pour le sous-sol*

Selon quelques personnes interrogées, l'industrie, les associations et les pouvoirs publics pourraient élaborer et décider de mesures d'aménagement du sous-sol en se servant d'une « Feuille de route ». Une « Feuille de route » est une plateforme pour la mise en réseau des acteurs qui veulent appliquer des mesures concernant des thèmes clés, définis en commun. La « Feuille de route Électromobilité » en est un exemple.²⁵ Sur l'initiative du DETEC, les offices fédéraux ODEN et OFROU ont invité des représentantes et représentants de l'économie et des pouvoirs publics pour formuler ensemble des idées sur le développement de l'électromobilité. En sont ressortis des mesures et des mandats concrets, comme l'extension des bornes de recharge.

²⁵ Pour de plus amples informations sur la feuille de route Électromobilité, consultez : <https://roadmap-elektromobilitaet.ch/de/>.

- *Recueil et échange de données sur le sous-sol*

Les personnes interrogées ont reconnu pour la plupart que la base de données sur le sous-sol est actuellement insuffisante. Les cantons possèdent, selon elles, des informations différentes sur le sous-sol, avec lesquelles ils planifient leurs utilisations du sous-sol. Il est vrai que certains acteurs, comme les bureaux d'études régionaux possèdent des connaissances sur le sous-sol. Mais ce savoir leur appartient. Il serait donc important pour le plan d'action de savoir sous quelles conditions des données et observations sur le sous-sol peuvent être partagés, notamment si ces données sont acquises pendant des projets dans le sous-sol. Selon les personnes interrogées, ces données devraient ensuite être transmises à un centre de compétence national (tel que swisstopo) dans le but de les centraliser. Il faudrait tenir compte ici des craintes de l'industrie concernant la perte de secrets industriels et clarifier la question du dédommagement financier. Au moyen d'une base de données géologique commune qui permettrait de réaliser des modèles supracantonaux, la Confédération pourrait fixer des priorités et gérer la coordination à l'échelle nationale. Il serait par exemple possible de contrôler quel canton apporte telle ou telle condition préalable. Cela impliquerait cependant une structure de données unifiée qui n'existe pas à ce jour selon les personnes interrogées. Cela nécessiterait même de nouvelles solutions techniques afin de représenter en 3D les utilisations du sous-sol. Il faudrait également assurer la sécurité des données et vérifier quelles données peuvent être rendues publiques. Selon les personnes interrogées, des cartes unifiées et complètes sur le sous-sol devraient être créées pour représenter les données étant donné que les cartes actuelles ne dépassent souvent pas les frontières du canton. Pourtant, certaines utilisations du sous-sol s'étendent au-delà des limites cantonales, ce qui n'est pas suffisamment représenté pour le moment, comme dans le cas de l'eau souterraine.

- *Clarification des besoins de la société par type d'utilisation et encouragement*

Une mesure possible du plan d'action pourrait être de cartographier les besoins de la société par type d'utilisation du sous-sol et de relever également les potentiels et les risques. Des intérêts en concurrence ou avec des synergies pourraient ainsi être mieux identifiés, ce qui permettrait une planification complète du sous-sol. Selon les personnes interrogées, la Confédération pourrait de plus promouvoir une priorisation des utilisations du sous-sol en encourageant activement le développement technologique et en couvrant les risques qui y sont liés. La couverture financière partielle des risques des projets de géothermie profonde par l'Office fédéral de l'énergie a été citée en exemple.

- *Intégration de la troisième dimension dans l'aménagement du territoire (souterrain)*

Il a été souligné dans la plupart des conversations qu'à l'avenir, le sous-sol devrait être intégré à l'aménagement du territoire. En surface, l'aménagement du territoire repose sur une perception bidimensionnelle de l'espace. Mais cela est insuffisant pour le sous-sol ; une compréhension tridimensionnelle est essentielle. Il existe donc une attente envers un plan d'action encourageant l'intégration de la compréhension tridimensionnelle de l'espace dans l'aménagement du territoire. Dans ce contexte, certaines personnes interrogées ont mentionné que la loi sur l'aménagement du territoire doit être davantage adaptée au sous-sol ou qu'elle doit traiter explicitement le cas du sous-sol.

2.3 Processus de synthèse et transfert de connaissances : classement des constats tirés des lots de travail 1 et 2

L'analyse empirique du LdT1 a identifié en tout 21 utilisations qui jouent actuellement ou joueront à l'avenir un rôle central dans le sous-sol suisse. Elle montre également que des secteurs économiques recourant à des technologies diverses sont actifs dans le sous-sol. Cependant, il convient non seulement de penser à l'exploitation des ressources du sous-sol mais aussi à leur protection (notamment de l'eau souterraine). De plus, il est apparu notamment en association avec le LdT2 que l'interaction entre surface et sous-sol constitue un aspect important et que l'aménagement du territoire doit donc être pensé de manière tridimensionnelle.

Pour une multitude des utilisations identifiées dans le LdT1, il s'agit d'utilisations déjà établies du sous-sol qui sont pertinentes dans la majorité des cantons. Appartiennent à cette catégorie les :

- découvertes archéologiques ;

- décharges ;
- géomatériaux ;
- eau souterraine ;
- installations militaires ;
- zones protégées ;
- constructions, conduites, infrastructures de transport souterraines et stockage souterrain ;
- géothermie peu profonde ;
- infiltration.

Néanmoins, des utilisations futures et de nouveaux secteurs associés sont aussi anticipées dans les cantons étudiés, comme le montrent les constats des lots de travail 1 et 2. Ainsi, la géothermie profonde est considérée dans de nombreux cantons comme une utilisation future possible et des projets pilotes correspondants existent déjà dans certains cantons. Concernant son potentiel de conflits et de synergies, cette utilisation a été analysée de manière différenciée dans les entretiens. Le transport souterrain de marchandises est cité comme évolution possible, notamment dans les cantons où est prévu le projet Cargo Sous Terrain. De même, l'utilisation du sous-sol comme dépôt en couches géologiques profondes est thématiquée essentiellement dans les cantons avec des sites potentiels. Certains cantons envisagent des réservoirs (pour le gaz et le CO₂) comme utilisation future.

Une analyse globale du LdT2 montre clairement que l'eau souterraine est considérée comme l'utilisation ayant le plus de relations de conflits, par ex. avec la géothermie profonde et peu profonde, les décharges, l'extraction de géomatériaux et les infrastructures souterraines. Dans ce contexte, les estimations sur le juste degré de protection de l'eau souterraine par rapport aux autres utilisations sont contradictoires : dans les entretiens, certaines personnes sont d'avis que l'eau souterraine et sa protection sont considérées de manière trop peu différenciée à l'heure actuelle tandis que d'autres placent la protection de l'eau souterraine comme priorité absolue face aux autres utilisations. Les relations conflictuelles entre les infrastructures souterraines citées et la géothermie profonde et peu profonde sont tout aussi multiples. Elles entrent non seulement en conflit les unes contre les autres (en raison de l'espace limité en sous-sol) mais se heurtent, comme nous l'avons cité, aussi régulièrement à la protection de l'eau souterraine.

Selon les personnes interrogées, le potentiel de synergie maximal peut être obtenu en privilégiant la multifonctionnalité ou les utilisations multiples. Pour les infrastructures en particulier, le stress de promiscuité qui s'annonce dans le sous-sol peut être évité en regroupant différentes utilisations (par ex. en regroupant tunnels de circulation et conduites). De plus, certains sous-produits provenant d'une forme d'utilisation pourraient encourager la réalisation d'autres utilisations (par ex. valorisation superficielle de l'eau souterraine utilisée en géothermie profonde ; utilisation de la chaleur dissipée par une infrastructure souterraine de transport).

Concernant la résolution des conflits d'utilisation et l'exploitation des potentiels de synergies, les entretiens ont mis en évidence deux défis centraux : premièrement, une planification tridimensionnelle efficace et la gestion des intérêts d'utilisations requièrent une connaissance suffisante sur la nature du sous-sol. Les personnes interrogées estiment que celle-ci fait encore défaut. Le potentiel consistant en ce que les données acquises par les utilisations du sous-sol contribuent à améliorer les connaissances (par ex. forages de la Nagra dans le cadre du dépôt en couches géologiques profondes) a également été souligné lors des entretiens. Deuxièmement, le fédéralisme et le travail en « silos » au sein des cantons ont été cités comme des défis pour la réglementation du sous-sol. Pourtant, certaines utilisations du sous-sol dépassent les frontières cantonales ou sortent du champ de compétences des offices. Par conséquent, des approches locales pour certaines formes d'utilisations (par ex. la protection de l'eau souterraine) n'offrent pas les mêmes possibilités que des solutions collaboratives et globales.

Les spécialistes du sous-sol interrogés dans les entretiens de validation se sont montrés peu surpris par les résultats. Ils ont confirmé que l'utilisation du sous-sol suit le principe « First come, first served » et que l'expertise et la terminologie employée sont très fragmentées. Les réseaux de conflits et de

synergies représentent bien la réalité selon les spécialistes et montrent qu'il y a une faible conscience des synergies et des conflits. Pourtant, ce statu quo est contreproductif pour un aménagement global et durable du sous-sol. Selon les spécialistes, une uniformisation des connaissances et de la terminologie, une prise de conscience de la complexité et de la diversité dans le sous-sol, un constant rééquilibrage entre utilisation et protection ainsi qu'une intégration du sous-sol à l'aménagement du territoire sont nécessaires.

3 Résultats de la sous-étude 2 : application et extension des dispositions réglementaires actuelles pour les besoins d'utilisation du sous-sol suisse

3.1 Lot de travail 3 (LdT3) : classification des utilisations dans la législation existante

3.1.1 Objectifs

L'objectif du LdT3 est de dresser un état des lieux des dispositions légales en rapport avec les utilisations, conflits et synergies identifiés dans la sous-étude 1. Cette présentation globale avec des approfondissements ponctuels vise à réduire l'insécurité pour le territoire en « sous-sol » et à disposer d'une base solide pour l'analyse des actions nécessaires (LdT4).

3.1.2 Démarche²⁶

Un inventaire et une analyse exhaustive de la réglementation de toutes les formes d'utilisation identifiées ne peuvent pas être atteintes dans le cadre du LdT3. En raison du caractère empirique des résultats acquis et des objectifs du projet de recherche, une structure d'analyse a donc été choisie qui prend en compte aussi bien la structure fédéraliste à plusieurs niveaux que les réglementations imbriquées du droit de propriété civil, du sous-sol de droit public et de la réglementation de droit public.

Pour la réglementation du sous-sol en général, il est fondamental d'un point de vue juridique de savoir si le sous-sol est une propriété privée ou publique. Il s'agit en premier lieu de définir le terme de sous-sol public au moyen du régime juridique de la propriété du CC. En présentant une vue d'ensemble de la réglementation sectorielle ainsi que des stratégies et des plans d'action au niveau fédéral, la compétence réglementaire restante des cantons devient déjà plus concrète. L'approche réglementaire concrète que les cantons examinés ont choisi pour « leur » sous-sol transparaît dans leurs lois cantonales respectives sur le sous-sol.

L'aménagement du sous-sol est une discipline du droit légal (encore) toute neuve. Il faut donc examiner si les instruments existants pour l'aménagement du territoire qui ont été créés en principe pour la planification des territoires en surface sont applicables au niveau du sous-sol et s'ils suffisent pour traiter les conflits d'utilisation spécifiques au sous-sol. Il convient ensuite d'analyser si le droit en vigueur remplit les besoins d'un aménagement tridimensionnel du territoire. Une attention particulière est apportée ici à la question des zones protégées, soulevée dans différents entretiens.

La protection de l'eau souterraine est une compétence de réglementation sectorielle, détenue par la Confédération. Une présentation séparée de celle-ci se justifie pour deux raisons : premièrement, l'eau souterraine est une utilisation du sous-sol pertinente dans tous les cantons selon les résultats du LdT1. Dans le LdT2 également, l'eau souterraine a été discutée dans tous les entretiens et a été perçue comme l'utilisation présentant la majorité des relations conflictuelles. Deuxièmement, la protection de l'eau souterraine laisse entrevoir la complexité de l'interaction des réglementations de la Confédération et des cantons. Les cantons de Zurich, d'Argovie et de Vaud examinés permettent, de plus, de montrer les effets d'une exécution cantonale et d'une réglementation sectorielle du sous-sol ainsi que les possibilités de la Confédération de contourner ce fédéralisme d'exécution.

Selon les constats du LdT2, le manque de connaissances sur le sous-sol constitue le défi central pour la planification et la réglementation des utilisations du sous-sol. Cette circonstance est à classer parmi les problèmes juridiques ou réglementaires avant d'analyser le droit en vigueur sur la mensuration et la géoinformation pour déterminer s'il prend en compte l'importance croissante des informations géologiques.

²⁶ Voir également l'avis de droit, ch. 1.3.

Sur le plan méthodologique, le LdT3 met l'accent sur l'analyse des bases juridiques (constitution, lois et ordonnances), de la jurisprudence et de la littérature selon une méthodologie juridique, de sorte qu'une classification juridique puisse être réalisée selon le droit en vigueur.²⁷

Les principaux résultats de la sous-étude 2 de sciences juridiques sont récapitulés ci-après pour le rapport final. Pour de plus amples informations et sources, nous invitons à consulter l'[avis de droit ci-joint](#) qui fait partie intégrante de la présente étude.

3.1.3 Résultats

3.1.3.1 Réglementation du sous-sol en général²⁸

Les limites de la propriété privée sont réglementées de manière exhaustive dans le droit fédéral (CC). Selon celui-ci, l'extension verticale de la propriété foncière doit être déterminée de manière dynamique et au cas par cas en fonction de l'intérêt à protéger. Est considéré comme « sous-sol public » dont les cantons disposent au niveau de leur territoire les terrains pour lesquels les propriétaires fonciers privés n'ont pas d'intérêt à protéger concernant l'exercice de leurs droits d'utilisation.

Les cantons de Zurich, d'Argovie et de Vaud réglementent la souveraineté sur « leur » sous-sol en premier lieu par des lois sur le sous-sol. Cette réglementation cantonale est soumise à deux réserves : premièrement, le régime juridique de la propriété du Code civil suisse déjà mentionné doit être respecté. Notamment, les définitions du sous-sol public par la loi cantonale qui diffèrent des règles du CC sont invalides (par ex. une définition du terrain comme sous-sol public à partir de 500 m de profondeur). Deuxièmement, la Confédération a à ce point eu recours à sa compétence de réglementation constitutionnelle dans de nombreux domaines que le droit cantonal sur le sous-sol est surrégulé. Cela se passe à large échelle lorsque la Confédération réglemente des projets correspondants de la planification (plan directeur) à la procédure (autorisation du plan) au droit matériel (par ex. conditions d'autorisation). Le projet supracantonal Cargo Sous Terrain s'accompagnant du Plan directeur Transport souterrain de Marchandises en est un exemple.

Afin de promouvoir un aménagement durable dans le sous-sol, la Confédération s'adresse en outre aux cantons, communes et particuliers au moyen de stratégies et de plans d'action (ce que l'on appelle la soft law). Étant donné qu'il manque à la Confédération une compétence législative générale pour le sous-sol, ce type de réglementations « douces » est un instrument important de la Confédération pour influencer une réglementation globalement durable du sous-sol. Mais le caractère juridiquement contraignant des stratégies et plans d'action reste limité. Si ces instruments peuvent servir de guides et de références pour certains acteurs gouvernementaux et privés, la soft law n'est pas appropriée pour limiter la marge décisionnelle des cantons dans le cadre de leur territoire ou obliger les particuliers à adopter un comportement donné. Seuls les législateurs des collectivités compétentes en matière de constitution, de lois et d'ordonnances y sont légitimés.

3.1.3.2 Aménagement du sous-sol²⁹

La Constitution fédérale permet à la Confédération de déterminer les bases de l'aménagement du territoire mais aussi d'encourager et de coordonner les efforts des cantons dans ce domaine. La mise en œuvre de cette question a lieu en premier lieu par la loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT). Les dispositions de la LAT s'appliquent aussi au sous-sol bien que celui-ci n'y soit pas mentionné explicitement. Il en découle une obligation générale de planification concernant les activités qui modifient ou préservent l'utilisation du sol ou l'occupation du territoire. Les autorités de planification de la Confédération, des cantons et communes doivent donc élaborer les planifications nécessaires dans le sous-sol et les harmoniser entre elles. Étant donné qu'il n'existe, comme mentionné, aucune réglementation particulière pour le sous-sol, les utilisations du sous-sol sont soumises à une obligation de planification et d'autorisation sous les mêmes conditions que les utilisations en surface, et les

²⁷ À ce sujet, cf. note 16 ci-dessus.

²⁸ Avis de droit, ch. 2.

²⁹ Avis de droit, ch. 3.

mêmes instruments de planification du territoire sont appliqués. Mais cela signifie également que le sous-sol échappe à l'obligation générale de planification de la LAT, pour autant qu'il n'ait pas de pertinence pour le développement urbain.

En revanche, dans la mesure où l'utilisation du sous-sol est liée au développement urbain ou à la séparation des terrains constructibles et non constructibles, le droit en vigueur relatif à l'aménagement du territoire régit également le développement dans le sous-sol. Il existe néanmoins une certaine insécurité sur le plan juridique. Premièrement, parce que les bases légales mentionnent à peine le sous-sol, par exemple quand les règlements d'utilisation déterminent la hauteur de construction maximale mais pas la profondeur de construction maximale. Deuxièmement, le rôle et le fonctionnement du droit sur l'aménagement du territoire en sous-sol a encore été peu étudié sur le plan juridique. Dans le cas des nouvelles formes d'utilisation du sous-sol, la question se posera sans cesse de savoir si éventuellement, des défis spécifiques peuvent être relevés avec les instruments actuels, conçus en principe pour la planification en surface. Il est difficile de dire, par exemple, si les instruments juridiques de planification sont applicables au sous-sol et de quelle façon, quand il n'existe aucun lien avec le développement urbain. Ce serait par exemple le cas quand des zones doivent être définies dans le sous-sol pour la protection des écosystèmes. La prochaine révision partielle de la LAT a pour but de compléter les principes de planification en leur ajoutant la « dimension sous-sol » : mais on peut se demander si les dispositions prévues constituent déjà un « droit du sous-sol » suffisamment concret, compte tenu des multiples formes d'utilisation existantes et futures..

Il s'avère par ailleurs que la planification directrice par la Confédération est centrale lors de la planification et de l'organisation de l'utilisation du sous-sol. De nombreuses utilisations actuelles et futures ont des effets supracantonaux sur l'actuelle organisation du territoire, c'est pourquoi les instruments de planification cantonaux auraient ici une portée trop restreinte. Ainsi, la question de la répartition des compétences entre la Confédération et les cantons est fondamentale notamment en vue du « droit du sous-sol ». En effet, la Confédération n'est habilitée qu'à la planification directrice si elle y est autorisée par la Constitution fédérale pour le domaine correspondant et si elle a promulgué des lois d'exécution correspondantes (par ex. pour les installations militaires, tunnels des routes nationales, installations du transport souterrain de marchandises).

3.1.3.3 Protection de l'eau souterraine³⁰

Dans le domaine de la protection de l'eau souterraine, la Confédération formule des exigences (minimales) étendues sur le contenu tandis que les cantons appliquent les réglementations du droit fédéral. Les cantons disposent d'une grande marge d'appréciation de sorte que l'application du droit fédéral conduit à des résultats différents d'un canton à l'autre.

Les effets de ce fédéralisme d'exécution sont visibles par exemple pour la règle des 10 %. D'après celle-ci, les cantons ont le droit d'accorder un permis exceptionnel pour les constructions qui se situent en dessous du niveau moyen de la nappe souterraine dans la mesure où la qualité d'écoulement de l'eau souterraine n'est pas réduite de plus de 10 % en comparaison d'un état sans influence externe. Tandis que le canton de Vaud s'inspire fortement des aides à l'exécution de la Confédération, une pratique très sévère s'applique dans le canton de Zurich qui vise à maintenir à 100 % la capacité d'écoulement des aquifères.

Il est à noter que la Confédération peut contourner au moyen de lois spéciales ce fédéralisme d'exécution et ses propres règles générales sur la protection de l'eau souterraine pour des domaines spécialisés isolés. Ainsi, la LTSM (Loi fédérale sur le transport souterrain de marchandises) prévoit pour la construction des installations intercantionales pour le transport souterrain de marchandises que la Confédération décrète un plan directeur et réalise une procédure d'autorisation des plans. Ainsi, les autorisations nécessaires ne sont pas accordées par les autorités cantonales mais par l'administration fédérale dans une procédure coordonnée. De plus, la Confédération peut fixer des conditions d'autorisation spécifiques dans ces lois spéciales. Concernant les projets régulés de manière

³⁰ *Avis de droit, ch. 4.*

correspondante, le fédéralisme d'exécution est alors privé d'effet et des dispositions particulières peuvent exister par rapport aux règles générales de la protection de l'eau souterraine.

3.1.3.4 Droit de la mensuration et de la géoinformation³¹

Une réglementation efficace du sous-sol n'est possible que si l'État a la connaissance requise sur la nature du terrain. L'État doit « savoir ce qu'il fait » quand il décrète des réglementations sur le sous-sol. On peut sinon questionner la légitimité de la réglementation gouvernementale mais aussi sa conformité au droit, sachant que des réglementations caduques ou absurdes sont anticonstitutionnelles. Ainsi, la législation sur la protection de l'eau souterraine définit par exemple que la température de l'eau souterraine ne doit pas être modifiée de plus de 3 °C par rapport à l'état naturel, par un apport ou un prélèvement de chaleur (ce que l'on appelle la règle des 3 °C) sans qu'il soit clarifié scientifiquement si des effets négatifs et lesquels sont à craindre dans tels ou tels espaces du sous-sol en cas de variations de température plus élevées. Le législateur (Parlement) et le rédacteur d'ordonnances (gouvernement, administrations) ont pour tâche de veiller à ce que la réglementation du sous-sol tienne compte des conditions géologiques, hydrologiques et écologiques. Étant donné que le sous-sol en Suisse n'a été exploré que dans des cas isolés, il manque aujourd'hui souvent les connaissances nécessaires et y parvenir est complexe et coûteux.

Dans ce contexte, le droit de la géoinformation occupe un rôle clé dans la réglementation du sous-sol. La Confédération en tient compte avec la révision actuelle de la LGéo en obligeant les particuliers à remettre les données sur le sous-sol et en améliorant l'échange des données entre les autorités. Pourtant, d'importantes questions doivent encore être réglementées dans l'ordonnance correspondante. La délimitation de la compétence des cantons ne semble pas non plus être complètement clarifiée, sachant que la LGéo révisée doit fournir aux cantons une marge de manœuvre pour la réglementation afin de collecter plus de données en comparaison du droit fédéral.

Les réglementations cantonales existantes concernant les informations géologiques sont hétérogènes notamment concernant les données qui sont recueillies auprès des acteurs privés. Une harmonisation ne devrait donc être atteinte que partiellement ou relativement à un standard minimum, avec la révision de la LGéo.

3.2 Lot de travail 4 (LdT4) : besoins de réglementation et recherche

3.2.1 Objectifs

Dans le LdT4, il s'agit de vérifier si les utilisations et besoins provenant de la sous-étude 1 peuvent être ancrés de manière pertinente dans le cadre juridique actuel (LdT3), où des adaptations des réglementations sont éventuellement nécessaires et où il persiste des lacunes juridiques. L'objectif du LdT4 est de formuler les besoins d'actions réglementaires et d'indiquer les voies possibles d'une future réglementation.

3.2.2 Démarche

Le LdT4 est consacré aux actions à entreprendre découlant de la classification juridique des principales utilisations du sous-sol (dans LdT3), et examine, pour les conflits et synergies³² à la base de l'analyse juridique, s'ils sont suffisamment pris en compte dans le droit en vigueur et dans la recherche juridique actuelle. Afin de pouvoir s'exprimer à ce sujet, les besoins d'utilisation identifiés doivent être reliés et pensés en regard des bases légales actuelles ou de l'état de la recherche.

³¹ *Avis de droit*, ch. 5.

³² Voir à ce sujet ch. 3.1.1 ci-dessus.

3.2.3 Résultats³³

3.2.3.1 « Constitution sur le sous-sol » : les délimitations des compétences entre la Confédération et les cantons doivent être davantage examinées et précisées

Les « nouveaux » domaines de réglementation relèvent en principe de la compétence des cantons car la Confédération n'est compétente pour la réglementation que si la Constitution fédérale l'y autorise. Étant donné qu'il n'existe aucune compétence fédérale générale pour la réglementation du sous-sol, il faut déterminer pour chaque forme d'utilisation si celle-ci est couverte par une des compétences actuelles de la Confédération. Si la Confédération n'est pas compétente pour ce cas, les cantons sont alors responsables.

La difficulté spécifique réside dans le fait que la « dimension sous-sol » n'a pas été explicitement incluse lors du décret des dispositions. La stratégie Sous-sol Suisse de la CFG prévoit cependant une compréhension globale du sous-sol, et le traite comme une ressource multifonctionnelle. Cependant, le sous-sol public fait partie du territoire des cantons. La réglementation du sous-sol relève donc en principe de la compétence originelle (souveraineté territoriale). En raison de cette situation délicate, des débats peuvent avoir lieu quant à savoir si les compétences spécialisées actuelles de la Confédération concernent aussi le sous-sol et dans quelle mesure. La sécurité juridique en pâtit.

Actuellement, le législateur fédéral tend à avoir une large compréhension de ses compétences spécialisées et y inclut les aspects du sous-sol sans y prêter plus attention. L'actuelle révision de la LGéo en est un exemple. S'il est vrai que les principes de la répartition des compétences entre la Confédération et les cantons n'y sont pas remis en question, ce risque est toutefois latent puisque des lois fédérales éventuellement décrétées en dehors du champ de compétences sont contraignantes.

Il est donc urgent d'examiner de manière complète et critique les compétences de réglementation constitutionnelle de la Confédération dans le domaine du sous-sol. Des analyses isolées de certaines compétences spécialisées concernant des projets de loi donnés (par ex. la révision de la LGéo) peuvent être judicieuses mais elles ne peuvent pas assurer une vue d'ensemble et ne soutiennent que de manière limitée un aménagement durable et global du sous-sol, comme il a été pensé dans la stratégie Sous-sol 2023.

Dans d'autres domaines de la réglementation gouvernementale qui se caractérisent également par des bases constitutionnelles complexes et une répartition floue des compétences, les sciences juridiques analysent des lois constitutionnelles correspondantes sur des domaines spécialisés (par ex. « loi sur la sécurité », « loi sur l'économie »). Une telle analyse est appropriée pour le sous-sol et pourrait identifier en tant que « constitution sur le sous-sol » toutes les dispositions pertinentes de la Constitution fédérale pour la réglementation du sous-sol, établir leurs liens et les représenter de manière systématique. Une loi constitutionnelle sur le sous-sol ainsi précisée pourrait permettre de discuter d'un point de vue juridique dans quelle mesure les compétences fédérales actuelles autorisent la Confédération à réglementer le sous-sol. De plus, elle pourrait aboutir à une discussion politique sur la question de savoir quelles compétences supplémentaires la Confédération doit recevoir ou céder concernant le sous-sol.

3.2.3.2 Soft law : les impulsions stratégiques doivent être transposées dans le droit (notamment cantonal)

Sur le plan stratégique, des intérêts fondamentaux pour l'utilisation du sous-sol ont été reconnus et formulés (stratégie Sous-sol Suisse, stratégie suisse pour la géoinformation, plan d'action Numérisation du sous-sol). Que la Confédération se serve de la soft law est compréhensible dans la mesure où la Constitution ne lui attribue pas de compétence générale pour réglementer le sous-sol. Une approche de réglementation intégrale au niveau de la Confédération peut donc être menée en particulier au moyen d'instruments de réglementation « doux ». Mais il faut ici veiller à ce que les énoncés des stratégies, plans d'action, etc. s'appuient sur la Constitution et la loi car la soft law ne

³³ Avis de droit ci-joint, ch. 6.

dispose que d'une faible légitimité en termes d'indépendance démocratique et d'État de droit. Par conséquent, comme son nom l'indique, la force normative de la soft law est donc limitée. Si la soft law n'est pas transposée en normes légales contraignantes pour les autorités et les acteurs privés (« hard law »), il existe alors un risque élevé que la gestion de l'aménagement durable du sous-sol reste largement inefficace.

Lors de la transposition des énoncés de la soft law en hard law, le défi est que ce sont en premier lieu les cantons qui disposent du sous-sol public et que les aspects essentiels de la réglementation du sous-sol doivent donc aussi toujours être consensuels au niveau cantonal. Ils ne sont sinon pas applicables dans la procédure législative cantonale. Une autre difficulté réside dans le fait que différentes conditions géologiques et intérêts sociétaux peuvent exister dans les cantons. Dans ce contexte, des plans d'action peuvent servir d'étape intermédiaire et anticiper ces sources de problèmes. L'implication précoce et entière des cantons et d'autres acteurs politiques majeurs est d'une importance capitale. On peut envisager dans certains domaines des lois types élaborées de manière supracantonale, suite aux plans d'action – avec la participation des autorités fédérales et des acteurs privés. Ces lois types pourraient aider les cantons à promulguer des lois et ordonnances concrètes. Il existe actuellement déjà une loi type des cantons du Nord-est de la Suisse sur l'utilisation du sous-sol mais son effet est limité à la région.

3.2.3.3 La Confédération doit se pencher davantage sur le sous-sol dans ses décrets d'exécution

Le législateur tente actuellement, dans différents décrets, de traiter le problème déjà constaté au niveau des compétences de la Confédération consistant en ce que le sous-sol a été à peine pris en compte dans les normes existantes pour les domaines spécialisés. Des « révisions spéciales sur le sous-sol » correspondantes sont actuellement en cours par exemple dans le droit de l'aménagement du territoire et de la géoinformation.

De nombreux décrets exécutifs reflètent encore à peine l'importance croissante du sous-sol pour un aménagement durable de la Suisse. Il convient ici en première ligne de penser à la législation sur la protection des eaux étant donné que cette réglementation recoupe pratiquement toutes les formes d'utilisations dans le sous-sol. Mais il faut partir du principe qu'il en est de même dans d'autres domaines spécialisés comme la législation militaire ou la protection des sites archéologiques et que les intérêts d'utilisations multiples sont encore insuffisamment représentés ou considérés.

Un aménagement aussi durable que possible du sous-sol ne peut pas être obtenu par une maximisation isolée de la durabilité dans les divers domaines spécialisés (eau souterraine, circulation, énergie, etc.). Il faut plutôt une pesée globale et différenciée des intérêts. Une autre difficulté s'ajoute à cela : les connaissances géologiques nécessaires sur le sous-sol manquent ici en partie.

D'un point de vue de droit public, il incombe en principe au législateur d'identifier les conflits d'intérêt correspondants, de coordonner les intérêts et, le cas échéant, de les équilibrer de manière différente. Il est important de se poser par exemple les questions suivantes : la législation actuelle sur la protection des eaux souterraines est-elle encore appropriée en regard des évolutions techniques, des présents constats sur le sous-sol, des nouvelles formes d'utilisation durables du sous-sol ? Est-il encore justifié que le sous-sol profond sous certaines installations militaires soit exclu de toute utilisation ? L'intérêt de protection des sites archéologiques doit-il être relativisé par rapport aux projets en sous-sol favorisant un développement durable ? Les développements actuels en surface qui semblent depuis peu être parfois précipités doivent nous servir d'avertissement. Pensons ici à la modification éclair de la loi sur l'énergie avec des mesures pour fournir rapidement une distribution électrique sûre en hiver (appelée offensive solaire) qui est entrée en vigueur le 1er octobre 2022. Si de tels « choix impulsifs » empêchant une pesée minutieuse et complète des intérêts doivent être évités pour le sous-sol, il faut alors étudier le plus tôt possible les éventuels changements d'intérêt.

3.2.3.4 Des lois cantonales sur le sous-sol sont nécessaires

La présente étude se réfère volontairement à des cantons dans lesquels l'utilisation du sous-sol est importante et bien avancée. En conséquence, les trois cantons examinés disposent d'une loi spécifique pour la réglementation de leur sous-sol. Cela ne doit pas occulter le fait que plus de la moitié des cantons ne possèdent aucune loi sur le sous-sol. La situation juridique devrait donc être difficile à clarifier dans ces cantons et ne pas permettre de définir ce qui nuit à la sécurité juridique.

Les lois cantonales sur le sous-sol, examinées pour les cantons de Zurich, d'Argovie et de Vaud contiennent des réglementations dont le contenu diffère (traitement des informations, obligation de démantèlement, activités soumises à autorisation et concession). Ainsi, les cantons peuvent aussi être perçus comme des « laboratoires expérimentaux » pour différentes réglementations. L'analyse des lois sur le sous-sol fournit notamment des premiers résultats sur deux aspects de la durabilité :

- Rétablissement de l'état antérieur : l'obligation de restaurer l'état tel qu'il était avant l'utilisation contribue à une utilisation durable du sous-sol. Bien que les lois cantonales sur le sous-sol abordent la question du rétablissement, cet intérêt n'est pas suivi de manière systématique. Cela peut s'expliquer par le fait que de nombreux projets en sous-sol ne seraient plus rentables en cas de financement complet du démantèlement. Les obligations de démantèlement sont conçues principalement sous forme de dispositions facultatives. Il manque, de plus, des réglementations en cas d'insolvabilité. Des obligations de démantèlement sans réglementation ferme du paiement devraient ne montrer aucun effet, à un horizon temporel de plusieurs décennies.
- Utilisation des synergies : les décrets abordent, comme mentionné, la question du rétablissement mais l'utilisation des synergies, en revanche, n'y est pas prévue – mise à part la récupération des informations. Ainsi, les lois cantonales sur le sous-sol ne se préoccupent pas de la possibilité de pouvoir reconvertir une infrastructure souterraine. Des procédures d'encouragement d'utilisations multiples ne sont pas prévues non plus (par ex. coordination des différents procédés ou autorisation aux conditions correspondantes).

On observe finalement que l'efficacité de la réglementation fédérale touche à ses limites. La géologie ne s'arrête pas aux frontières cantonales, ce qui rend problématiques une réglementation et une pratique d'exécution différentes pour chaque canton, dans le cas par ex. des grands projets. Par conséquent, la Confédération chapeaute la réglementation cantonale pour les projets suprarégionaux au moyen de planification directrice et de procédures d'autorisation des plans, si bien que les autorisations et concessions cantonales usuelles sont inutiles. Quand ils sont touchés concrètement, les cantons ne sont impliqués que comme collectivité participant à la procédure. Mais cette démarche n'est admissible que dans les domaines où la Confédération est dotée des compétences correspondantes par la Constitution fédérale.

3.2.3.5 Le droit de l'aménagement se trouve au stade expérimental pour le sous-sol

Le droit de l'aménagement et ses instruments s'appliquent en principe aussi au sous-sol. Cependant, ils ne sont pas destinés spécifiquement au sous-sol. En raison du lien entre droit d'aménagement classique et développement urbain, les utilisations du sous-sol profond qui ne sont pas reliées directement à la surface sont difficiles à appréhender d'un point de vue du droit de l'aménagement. Il n'est pas définitivement clarifié si le droit classique de l'aménagement suffit pour régir suffisamment les intérêts d'utilisation actuels et prévisibles dans le sous-sol, ou si des instruments d'aménagement nouveaux ou similaires devraient être conçus (zones protégées autonomes dans le sous-sol ou encouragement de synergies dans le sous-sol par ex.). Une certaine insécurité juridique règne également car les sciences juridiques ne se sont penchées sur ces questions que de manière ponctuelle.

3.2.3.6 La Confédération peut contourner ponctuellement le fédéralisme d'exécution pour la protection des eaux souterraines

Les nombreux défis et questions déjà abordés concernant une utilisation durable du sous-sol

s'observent par exemple dans la protection des eaux souterraines.

La Confédération est dotée d'une compétence étendue pour la protection des eaux souterraines. Cependant dans le cadre de l'exécution, les cantons disposent d'une marge d'appréciation importante qu'ils exploitent de manière variable. Cela s'applique aussi bien au niveau de l'aménagement que pour la mise en œuvre de dispositions concrètes du droit matériel comme la règle des 10 % précédemment citée pour les autorisations exceptionnelles de constructions dans des eaux souterraines exploitables et les zones attenantes nécessaires à leur protection (secteur Au de protection des eaux).

Pour la mise en œuvre de grands projets dans le sous-sol, la Confédération peut également contourner en grande partie ce fédéralisme d'exécution par un plan directeur associé à une procédure d'autorisation des plans. Elle peut en outre dévier de sa propre réglementation générale sur le sous-sol, qui figure notamment dans la loi sur les eaux souterraines et l'ordonnance correspondante. En d'autres termes, l'exemple de la protection des eaux souterraines montre que du point de vue de la Confédération, la réglementation du sous-sol est souvent une réglementation en rapport avec le projet (dépôt en couches géologiques profondes des déchets radioactifs, Cargo Sous Terrain, par ex.) avec laquelle elle contourne les prescriptions cantonales et générales du droit fédéral.

3.2.3.7 Le rôle central de la mensuration et de la géoinformation

Le législateur a reconnu l'importance de l'harmonisation et de la coordination des activités informationnelles dans le sous-sol. Ainsi, la Confédération est prioritaire concernant la réglementation uniforme de ces tâches de géologie nationale. Sa compétence est toutefois contestée dans ce domaine et la délimitation des compétences restantes des cantons à cet égard n'est pas clarifiée définitivement. Concernant l'obligation envers les détenteurs privés de données de divulguer les données géologiques, la Confédération semble partir elle-même du principe qu'une marge de réglementation plus étendue subsiste pour le droit cantonal puisque les cantons ont le droit de prévoir des obligations allant au-delà du droit fédéral.

On remarque que malgré l'intérêt d'harmonisation reconnu de manière générale, le contenu des réglementations existantes varie fortement dans les trois cantons analysés, notamment en ce qui concerne les questions centrales portant sur les informations à recueillir et comment traiter les données collectées par le secteur privé. Il existe, de plus, dans les lois cantonales sur le sous-sol diverses réglementations concernant les géoinformations. Il est à noter que les cantons examinés ne sont pas représentatifs étant donné que de nombreux cantons ne disposent pas de décrets correspondants sur le sous-sol et ne peuvent donc formuler aucune réglementation sur la transmission des données dans les cas des utilisations du sous-sol.

Au niveau de la Confédération, il faudra régler par ordonnance la question de savoir si les données géologiques livrées doivent être accessibles aux tiers ou au public et dans quelle mesure. La loi oblige le Conseil fédéral à tenir compte de manière appropriée des intérêts économiques des détenteurs de données, notamment le secret de fabrication et le secret commercial. Mais en raison de la compétence parallèle, les cantons ont le droit, comme mentionné, de prévoir eux aussi leurs propres réglementations plus avancées concernant ce point.

4 Conclusions et perspectives

4.1 Qualification juridique des attentes concernant le plan d'action

Dans le lot de travail 2 (cf. chapitre 2.2.3.5), les attentes des personnes interrogées concernant le plan d'action ont été notées. Celles-ci sont classées ci-après en fonction de leur aspect juridique mais aussi analysées et évaluées à l'aide des résultats des lots de travail 3 et 4. L'objectif est d'examiner ainsi s'il existe des contradictions entre les attentes exprimées dans les entretiens concernant le plan d'action et les bases légales actuelles, et si une action est éventuellement nécessaire.

- *Attente 1 : implication des acteurs pertinents dans l'élaboration du plan d'action*

Toutes les personnes interrogées se sont accordées sur le fait qu'une démarche participative est nécessaire pour l'élaboration du plan d'action. D'un point de vue juridique, une implication précoce et étendue des cantons ainsi que des parties prenantes semble également appropriée, car l'effet juridique contraignant de la soft law est limité. Afin que les énoncés du plan d'action deviennent contraignants pour les autorités et acteurs privés, ils doivent tout d'abord être transposés dans les lois et ordonnances – notamment du droit cantonal. L'expérience montre que cette transposition des questions formulées dans la soft law ne réussit que si elle est suffisamment soutenue par les acteurs politiques concernés.

- *Attente 2 : ébauche d'une vision nationale pour un développement durable du sous-sol*

La majorité des personnes interrogées souhaite une vision nationale pour le développement durable du sous-sol. Une vision permet d'énoncer des principes qui vont au-delà du statu quo et du droit applicable. Par sa nature juridique, un plan d'action convient en principe pour définir une vision commune de la Confédération, des cantons et des acteurs privés pour l'aménagement futur dans le sous-sol suisse. Dans le même temps, il est primordial que celui-ci s'oriente sur les valeurs actuelles décidées dans la constitution et la loi, à défaut de quoi il risque de manquer de légitimité.

Si le concept de durabilité dans le contexte du sous-sol doit par exemple être précisé, les énoncés sur la durabilité dans la constitution et la loi doivent être pris en compte. Le principe de durabilité posé dans la constitution à l'art. 73 Cst. devrait jouer ici un rôle central. Selon celui-ci, la Confédération et les cantons œuvrent à l'établissement d'un équilibre durable entre la nature, en particulier sa capacité de renouvellement, et son utilisation par l'être humain.

- *Attente 3 : création d'une visibilité (politique) pour le thème du sous-sol*

La création d'une visibilité (politique) pour le thème du sous-sol a été abordée par certaines des personnes interrogées. Le sous-sol et ses ressources sont actuellement au cœur du débat politique sur les différentes utilisations (par ex. dépôt en couches géologiques profondes, Cargo Sous Terrain) mais ils ne sont pas représentés comme écosystème interdisciplinaire. Il manque aussi une perspective globale du sous-sol dans les sciences juridiques. La réglementation et la recherche correspondante débutent à peine et sont fortement fragmentées.

- *Attente 4 : clarification des compétences et responsabilités entre la Confédération et les cantons*

La délimitation des compétences entre la Confédération et les cantons a été perçue comme floue par toutes les personnes interrogées. L'analyse juridique confirme que les réglementations des compétences entre la Confédération et les cantons sur le sous-sol ne sont pas toutes définies. Conformément au droit constitutionnel en vigueur, la Confédération ne possède aucune compétence pour fixer de manière étendue des réglementations, conditions-cadre ou priorités générales et contraignantes concernant l'utilisation du sous-sol. Elle doit donc toujours pouvoir s'appuyer sur une ou plusieurs compétences sectorielles. Cependant, pour un grand nombre de compétences fédérales, il est à peine clarifié dans quelle mesure elles se rapportent également au sous-sol.

De manière générale, la décision sur la répartition des compétences incombe au pouvoir constituant (le peuple et les cantons). Là où la Constitution fédérale autorise la Confédération à réglementer,

c'est l'Assemblée fédérale en tant qu'autorité législative qui exerce en premier lieu cette compétence. Dans cette mesure, un plan d'action n'est pas adapté pour clarifier ou redéfinir la répartition des compétences entre la Confédération et les cantons. Un plan d'action pourrait tout au plus présenter des avis concordants sur la répartition applicable ou future des compétences. Mais ni le pouvoir constituant ni l'autorité législative ne seraient liés par de tels énoncés. Cependant, cela permettrait de disposer d'indications sur les domaines spécialisés qui sont contestés et sur ceux qui ne le sont pas.

- *Attente 5 : création de directives, conditions-cadre et réglementations contraignantes au niveau national*

Les personnes interrogées ont émis des avis différents quant à la nécessité qu'un plan d'action formule au niveau fédéral des mesures contraignantes. D'un point de vue juridique, la Confédération ne peut décréter des normes contraignantes pour les acteurs privés et les autorités que si la Constitution fédérale l'y habilite. De plus, elle ne peut le faire que sous forme de lois et d'ordonnances mais pas directement par un plan d'action. Des aspects soulevés lors de différents entretiens sont examinés plus en détail ci-après :

Planification directrice et aménagement du territoire en général : Le fait qu'un projet ait une signification suprarégionale ne justifie pas une compétence fédérale pour une planification directrice. Cet instrument n'est à la disposition de la Confédération que si la Constitution fédérale l'habilite pour le domaine spécialisé correspondant (par ex. pour les installations militaires, les tunnels de chemin de fer). De manière générale, la Confédération dispose, dans le domaine de l'aménagement du territoire, de la compétence lui permettant de définir les grandes lignes ainsi que d'encourager et de coordonner les efforts d'aménagement du territoire des cantons. Ces compétences concernent en principe également le sous-sol. L'intégration de la troisième dimension dans l'aménagement du territoire relève donc du moins en partie de la responsabilité de la Confédération. Une révision de la loi sur l'aménagement du territoire visant à créer des dispositions pour le sous-sol est actuellement en cours. Mais il est difficile de dire si cette révision suffira, compte tenu de la diversité des utilisations actuelles et futures. Comme nous l'avons mentionné, aucune réglementation directement contraignante ne peut être créée dans le plan d'action. Mais ce plan peut constituer un instrument important indiquant des directions à suivre pour les évolutions futures d'un « droit du sous-sol ».

Coûts de l'utilisation du sous-sol : Conformément au droit constitutionnel en vigueur, la Confédération ne dispose pas de la compétence d'imposer aux cantons des prescriptions contraignantes sur les coûts des utilisations du sous-sol. Mais le plan d'action pourrait souligner l'importance d'avoir des réglementations cantonales claires à ce sujet.

Promotion de l'innovation et des technologies : Il n'existe pas de compétence fédérale générale pour la promotion de l'innovation et des technologies. Il faut donc examiner au cas par cas si la Confédération a le droit de prendre des mesures d'encouragement. D'ailleurs, un plan d'action pourrait contenir des énoncés sur les axes possibles d'une promotion de l'innovation et des technologies liées au sous-sol, au niveau de la Confédération et des cantons.

Priorisation des intérêts d'utilisation dans le sous-sol : Dans un État de droit démocratique, le pouvoir constituant et l'autorité législative ont pour tâche de définir les intérêts publics et de sopeser les intérêts. Ainsi, de nouvelles priorités d'utilisation autonomes ou des besoins sociétaux ne peuvent pas être développés dans un plan d'action. Ce type d'énoncés doivent suivre la Constitution et la loi, à défaut de quoi la légitimation du plan d'action est remise en question.

Pour résumer, on peut dire que différentes attentes concernant le plan d'action ne peuvent pas être remplies à l'heure actuelle sur le plan réglementaire car elles concernent des domaines dans lesquels seuls les cantons sont responsables de la réglementation. La Confédération n'a pas le droit d'imposer des consignes contraignantes dans ce domaine. Un plan d'action ne peut donc contenir aucune réglementation contraignante puisqu'elle serait en contradiction avec la répartition actuelle des compétences réglementaires. Dans ce contexte, des modèles d'ordonnances élaborés au niveau intercantonal constituent une possibilité pour regrouper le savoir technique et les ressources des cantons – sous la direction ou avec le soutien de la Confédération, le cas échéant. Des modèles de prescriptions intercantionales, tels qu'il en existe dans le domaine du droit de l'énergie (MoPEC) pourraient constituer une étape intermédiaire utile dans la mise en œuvre des déclarations d'un plan d'action par la législation cantonale respective.

- *Attente 6 : prise en compte des particularités des cantons et harmonisation*

Les personnes interrogées se sont accordées sur le fait que les particularités des cantons, par ex. concernant le savoir technique et les connaissances du sous-sol, doivent être prises en compte dans un plan d'action (qu'il soit contraignant ou non). De plus, la majorité des personnes interrogées ont indiqué le besoin d'harmonisation du jargon technique et des procédures entre les cantons. Lors de l'application des directives de droit fédéral (par ex. dans le droit de la protection des eaux), le fédéralisme d'exécution prend en compte les particularités des cantons. Toutefois, pour les projets souterrains d'importance suprarégionale, la Confédération peut – dans la mesure où elle peut s'appuyer sur des compétences suffisantes – se charger de l'exécution par le biais d'une procédure d'autorisation matérielle et de planification à définir dans une loi spéciale, et ainsi l'uniformiser.

Une certaine harmonisation peut également être souhaitée dans des domaines spécialisés dans lesquels seuls les cantons sont responsables de la réglementation. Les modèles d'ordonnances élaborées au niveau intercantonal, déjà cités auparavant, pourraient aussi servir à établir un équilibre entre les intérêts d'harmonisation et la prise en compte des particularités cantonales. Notamment lorsque des modèles de prescriptions suivent le principe de conception modulaire, les cantons peuvent composer individuellement leur réglementation et limiter leur projet de législation aux réglementations pertinentes et applicables politiquement ; celles-ci sont ensuite harmonisées au niveau intercantonal. L'intention concernant une démarche correspondante pourrait être inscrite dans le plan d'action.

- *Attente 7 : amélioration des données sur le sous-sol*

La répartition (contestée) des compétences, prévue par la Constitution doit être respectée lors de l'application des énoncés du plan d'action pour l'acquisition et la gestion des données sur le sous-sol. Il faut également faire remarquer qu'actuellement, une révision de la loi sur la géoinformation est en cours et qu'elle doit répondre en partie aux attentes citées.

De plus, il existe déjà des instruments au niveau de la Confédération dont le but est d'améliorer la base de données sur le sous-sol. L'Organe de coordination de la Confédération pour la géologie (KBGeol) constitue un service qui a pour mission d'uniformiser la collecte de données sur le sous-sol et de consolider la collaboration avec les autorités, la science et l'économie privée. Il faudrait vérifier, le cas échéant, dans quelle mesure cette mission doit être ajustée. La Stratégie suisse pour la géoinformation ainsi que le plan d'action Numérisation du sous-sol constituent des instruments déjà existants de la soft law, qui se consacrent à la production, au traitement et à la mise en réseau des géodonnées en Suisse. D'autres plans d'action visant l'amélioration de la base de données sur le sous-sol devraient s'appuyer sur ces documents.

4.2 Réflexion critique sur les résultats et besoin de recherche supplémentaire

Le présent projet de recherche sert de base pour l'identification du potentiel de conflit et de synergie entre différentes utilisations du sous-sol en Suisse d'une part et pour une meilleure compréhension des questions juridiques actuelles concernant le sous-sol, d'autre part. Les résultats se basent, d'un côté, sur des études de cas portant sur les trois cantons de Zurich, d'Argovie et de Vaud et de l'autre côté, sur une analyse juridique des bases légales existantes. Étant donné que jusqu'ici, le sous-sol suisse a été peu exploré en tant que système global, des constats importants font l'objet d'une réflexion critique ci-après, et la nécessité de conduire d'autres recherches y est rappelée.

La méthode choisie pour l'analyse des conflits et des synergies entre les utilisations du sous-sol (analyse des réseaux sociaux) s'est avérée appropriée et révélatrice. Bien que l'analyse des réseaux sociaux soit avant tout appliquée en psychologie pour étudier les relations interpersonnelles, cette méthode est employée de plus en plus pour examiner les écosystèmes complexes.³⁴ Dans le cadre de ce projet de recherche, la méthode a été appliquée aux trois cas choisis : les cantons d'Argovie, de Zurich et de Vaud. Il convient donc de souligner que les résultats de ce projet ne sont pas représentatifs de

³⁴ Bodin, 2006.

l'ensemble de la Suisse ou de tous ses cantons. Les trois cantons examinés sont comparativement en avance dans le domaine de l'utilisation et de la réglementation du sous-sol. Cela transparaît, par exemple, dans le fait qu'ils disposent de lois cantonales sur le sous-sol alors que plus de la moitié des cantons suisses n'ont adopté aucune loi correspondante pour leur utilisation du sous-sol. Pour pouvoir formuler des énoncés plus généraux sur l'utilisation du sous-sol en Suisse, cette méthodologie devrait donc être appliquée aux autres cantons. Il serait ainsi possible d'obtenir une base de données plus fournie afin de faire des recommandations sur les actions appropriées.

D'un point de vue juridique, il apparaît clairement au travers des présentes enquêtes que le droit du sous-sol est trop peu développé, ce qui conduit à une insécurité juridique pour les conflits identifiés. Une plus grande clarté est nécessaire à différents niveaux : les compétences de la Confédération et des cantons dans le sous-sol sont floues ou contestées dans différents domaines spécialisés. C'est le cas notamment du droit de la mensuration et de la géoinformation qui est d'une importance capitale pour une utilisation accrue du sous-sol. Une « loi constitutionnelle sur le sous-sol » permettrait d'indiquer et de préciser la répartition des compétences dans le sous-sol – comme contribution des sciences juridiques pour créer une plus grande visibilité (politique) pour le sous-sol. Dans d'autres domaines de la réglementation gouvernementale qui se caractérisent par des bases constitutionnelles complexes et une répartition floue des compétences, les sciences juridiques analysent des lois constitutionnelles correspondantes sur des domaines spécialisés (par ex. « loi sur la sécurité », « loi sur l'économie »). Ces types de concepts consolidés de droit constitutionnel sont, d'une part, très précieux pour les sciences juridiques elles-mêmes et alimentent, d'autre part, directement le discours politique.

Dans ses décrets d'exécution également, la Confédération doit se pencher sur le sous-sol et les conflits d'utilisation. L'importance du sous-sol est encore peu représentée dans la législation et l'on peut douter, d'autre part, de la capacité de la réglementation actuelle à servir l'objectif d'un aménagement globalement durable du sous-sol. Il est vrai que la loi sur l'aménagement du territoire est actuellement en cours de révision et que des dispositions sur le sous-sol vont être ajoutées. Mais les réglementations prévues restent très abstraites. Cela laisse donc à penser que la sécurité juridique dépendra de plus amples recherches juridiques et, éventuellement, d'autres projets législatifs. Une approche possible pour la recherche serait de réaliser une étude à grande échelle afin de concevoir un droit d'aménagement du territoire à part entière pour le sous-sol. Certaines questions appartenant au droit de l'aménagement du territoire sont aussi pertinentes dans le contexte de certaines utilisations du sous-sol (par ex. la construction de réservoirs en dehors de la zone à bâtir).

On constate pour les utilisations examinées qu'elles profitent des lois cantonales sur le sous-sol et de la sécurité juridique qui en découle (au moins en partie). Les cantons qui ne disposent pas encore d'une loi sur le sous-sol devraient envisager l'introduction de telles réglementations. Cependant, l'analyse des cantons d'Argovie, de Zurich et de Vaud n'a pas permis d'identifier un standard uniformisé pour une réglementation cantonale du sous-sol. Au contraire : les réglementations cantonales analysées possèdent des contenus parfois très différents. Elles ne permettent donc pas de formuler dans une comparaison intercantonale des « bonnes pratiques » que pourraient suivre les cantons lors de l'élaboration de leurs propres lois sur le sous-sol. Il faudrait pour cela qu'une recherche juridique future examine, de manière plus étendue et avec la priorité y afférente, les lois cantonales existantes concernant le sous-sol. Par ailleurs, une approche sociologique est appropriée pour établir un processus d'échange d'expériences et de connaissances entre les cantons. Les cantons pourraient ainsi élaborer en commun de « bonnes pratiques ».

En outre, la première sous-étude a montré que des synergies entre les utilisations du sous-sol reposant sur les principes de la multifonctionnalité, de l'utilisation multiple et de l'exploitation circulaire des ressources sont fondamentales pour un aménagement durable du sous-sol. La seconde sous-étude a cependant montré que les décrets, lois et procédures ainsi que les outils d'aménagement du territoire ne rendent pas encore compte actuellement du potentiel de ces synergies et ne proposent pour la pratique aucune motivation pour renforcer la mise en réseau et créer des projets de synergies. Ce statu quo juridique transparaît également dans la partie empirique de cette enquête. Il était, en effet, plus difficile pour les personnes interrogées de réfléchir aux synergies qu'aux conflits. Pour arriver

à un aménagement durable du sous-sol, les acteurs devraient y être sensibilisés et les outils réglementaires adaptés. Une recherche plus poussée devrait clarifier comment une réglementation gouvernementale peut gérer les conflits d'utilisation mais aussi parvenir à encourager les synergies. Il serait, de plus, judicieux d'examiner au niveau du projet des aspects, tels que le moment, l'intégration et l'application des synergies intersectorielles pour les différentes utilisations. Il serait ainsi possible de créer par exemple des guides pour la pratique qui encourageraient la collaboration et la pensée systémique au niveau d'un projet.

Enfin, ce projet de recherche montre qu'une approche participative est efficace pour élaborer le plan d'action. Mais il faut garder à l'esprit que ce type de processus est complexe et qu'il doit être pensé sur le long terme. Une démarche progressive et participative se basant sur des méthodes transdisciplinaires est idéale dans ce cas. Ces méthodes ont pour objectif d'élaborer en commun des mesures bénéficiant d'un large soutien. Celles-ci reposent sur des processus interactifs (co-création) et des outils numériques (plateformes participatives numériques, par ex.). La transparence et la confiance sont ainsi valorisées. De plus, ces types de méthodes recèlent un fort potentiel pour mettre efficacement en réseau des acteurs de professions et disciplines différentes et faciliter ainsi l'échange des connaissances techniques et la collaboration.

4.3 Champs d'action prioritaires pour un aménagement durable du sous-sol et élaboration d'un plan d'action

Sur la base des analyses sociologiques et juridiques de ce rapport, les autrices et auteurs ont identifié cinq champs d'action prioritaires. Ceux-ci visent à permettre un **aménagement durable du sous-sol suisse** et à servir de base à l'élaboration participative d'un **plan d'action national**.

- **Nécessité d'un dialogue sur le rôle et les compétences de la Confédération** : la Confédération n'a pas la compétence de réglementer et de coordonner l'ensemble du sous-sol suisse de manière contraignante. Il lui est seulement possible, à l'heure actuelle, de donner des impulsions pour un aménagement durable et globale du sous-sol au moyen de la « soft law » (plan d'action, par ex.). On peut cependant s'interroger sur la réelle possibilité d'atteindre un tel aménagement au moyen d'impulsions facultatives. Un dialogue entre la Confédération et les cantons est donc nécessaire pour clarifier les compétences face à l'objectif commun d'une gestion durable et globale du sous-sol. Il faudrait donc examiner si un plan d'action et/ou d'autres instruments de la « soft law » à la disposition de la Confédération doivent être employés et comment procéder compte tenu des différentes réalités et compétences spécialisées des cantons.
- **Les cantons comme acteurs centraux de l'aménagement du sous-sol** : non seulement la collaboration entre les cantons et la Confédération dans le cadre du plan d'action est essentielle, mais il est également impératif qu'une coordination intercantonale des utilisations du sous-sol et de la protection du sous-sol ait lieu. Pour une harmonisation de la terminologie, des règles et des procédures, il est nécessaire que les cantons élaborent et optimisent en commun des outils. Ceux-ci peuvent se composer par ex. de modèles de prescriptions, de guides et d'aides à la priorisation ainsi que de stratégies et d'instructions sur la pesée des intérêts.
- **Collaboration pour l'élaboration d'un plan d'action** : dans le contexte de la répartition juridique actuelle des compétences entre la Confédération et les cantons et du fédéralisme d'exécution, une démarche participative est fondamentale pour élaborer un plan d'action. L'implication des autorités cantonales et des associations industrielles dans le processus d'élaboration recèle d'une part un grand potentiel de regroupement des connaissances techniques éparses sur le sous-sol et de renforcement du potentiel d'innovation intersectoriel. D'autre part, un large appui légitime le plan d'action auprès des parties l'appliquant (cantons et industrie), ce qui est déterminant pour la réussite d'un outil reposant sur la « soft law », tel que le plan d'action.
- **Montrer la valeur des synergies et les encourager activement** : la multifonctionnalité, l'utilisation multiple et l'économie circulaire recèlent un grand potentiel pour des projets innovants, intersectoriels et durables pour le sous-sol. Néanmoins, le droit en vigueur ne con-

tient que peu de règles pour la création de synergies entre différentes utilisations du sous-sol. Notamment les procédures de planification, d'autorisation et de concession doivent être révisées pour rendre plus visible le potentiel des diverses synergies et mieux l'exploiter. Il convient de clarifier au niveau du projet quand et comment des synergies peuvent être identifiées et intégrées.

- **Établir les faits scientifiques pour une meilleure base décisionnelle** : un arbitrage entre les différentes utilisations, stratégies et objectifs sociétaux en relation avec le sous-sol requiert des faits scientifiques. La discussion sur la protection des eaux souterraines dans le contexte de la transition énergétique, de la politique de décarbonation et climatique nécessite, par exemple, des preuves scientifiques approfondies sur les valeurs seuils de température (règle des 3 °C) ou les aquifères profonds. L'importance croissante du sous-sol pour la décarbonation de la Suisse nécessite également plus de recherche dans ce domaine.

Bibliographie

ABEGG ANDREAS/DÖRIG LEONIE, Wie der Untergrund vom Recht erfasst, Inforum 2019/1, p. 4 sq.

ABEGG ANDREAS/DÖRIG LEONIE, System der privaten und öffentlichen Nutzungsrechte am Untergrund, URP 2019, p. 385 sq.

ABEGG ANDREAS/DÖRIG LEONIE, Rechtsgutachten Untergrund im Recht vom Oktober 2018, im Auftrag der Bau- Planungs- und Umweltdirektorenkonferenz (BPUK) und Energiedirektorenkonferenz (EnDK), URL : https://www.bpuk.ch/fileadmin/Dokumente/bpuk/public/de/dokumentation/berichte-gutachten-konzepte/planung/D_Rechtsgutachten_Recht_im_Untergrund_Abegg_Doerig.pdf.

ADMIRAAL HAN/CORNARO ANTONIA, Underground Spaces Unveiled: Planning and creating the cities of the future, London 2018, ICE Publishing.

ADMIRAAL HAN/CORNARO ANTONIA, Why underground space should be included in urban planning policy - And how this will enhance an urban underground future, Tunnelling and Underground Space Technology 2016 n° 55, p. 214 sq.

AMREIN MARTIN, Bakterien und Pilze in Gefahr: Wenn die Winzlinge im Boden sterben, NZZ am Sonntag du 20 mai 2023, URL : <https://magazin.nzz.ch/nzz-am-sonntag/wissen/biodiversitaetsverlust-dem-boden-gehen-die-mikroben-aus-ld.1738327?reduced=true>.

BARTEL SEBASTIAN/JANSSEN GEROLD, Underground spatial planning - Perspectives and current research in Germany, Tunnelling and Underground Space Technology 2016/55, p. 112 sq.

BAUER SEBASTIAN/BEYER CHRISTOF/DETHLEFSEN FRANK/DIETRICH PETER/DUTTMANN RAINER/EBERT MARKUS/FEESER VOLKER/GÖRKE UWE/KÖBER RALF/KOLDITZ OLAF/RABEL WOLFGANG/SCHANZ TOM/SCHÄFER DIRK/WÜRDEMANN HILKE/DAHME ANDREAS, Impacts of the use of the geological subsurface for energy storage: An investigation concept. Environmental Earth Sciences 2013/70 n° 8, p. 3935 sq.

BIAGGINI GIOVANNI, Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, Kommentar, 2e édition, Zurich 2017.

BOBYLEV NIKOLAI, Mainstreaming sustainable development into a city's Master plan: A case of Urban Underground Space use, Land Use Policy 2009/26 n° 4, p. 1128 sq.

BODIN ÖRJAN, A network perspective on ecosystems, societies and natural resource management, Doctoral thesis, Stockholm University, Faculty of Science, Department of Systems Ecology, Stockholm 2006.

DE MULDER EDUARDO/HACK H. ROBERT G.K. /VAN REE C.C. DERK F., Sustainable Development and Management of the Shallow Subsurface, London 2012, The Geological Society.

DÖRIG LEONIE, Das Recht zur Nutzung der Erdwärme, Diss., Zurich/St. Gall 2020.

EPINEY ASTRID/SCHUYLI MARTIN, Umweltvölkerrecht, Völkerrechtliche Bezugspunkte des schweizerischen Umweltrechts, Berne 2000.

GIL, OLGA/CORTES-CEDIEL, MARIA/CANTADOR, IVAN, Citizen Participation in Smart Cities and Smart Governments, International Journal of E-Planning Research 2019, volume 8, n° 1, p. 19 sq.

GOEL R. K./SINGH BHAWANI/ ZHAO JIAN, Underground Infrastructures: Planning, design, and construction, Waltham/Oxford 2012, Butterworth-Heinemann.

HÁMOR-VIDÓ, MÁRIA/HÁMOR TAMÁS/CZIROK LILI, Underground space, the legal governance of a critical resource in circular economy, *Resources Policy* 2021/73.

HERDEGEN MATTHIAS, *Staat und Rationalität, Zwölf Thesen*, Paderborn/Munich/Vienne/Zurich 2010.

HUSER MEINRAD, Planung und Nutzung des Untergrunds, dans : *Baurecht* 2023, p. 185 sq.

HUSER MEINRAD, *Schweizerisches Vermessungsrecht*, 3e édition, Zurich 2014.

ISENSEE JOSEF, Die Rationalität des Staates und die Irrationalität des Menschen, Prämissen der Demokratie, *Archiv des öffentlichen Rechts* 2015, p. 169 sq.

JEANNERAT ELOI/MOOR PIERRE, art. 17 LAT, dans : Aemisegger Heinz/Moor Pierre/Ruch Alexander/Tschannen Pierre, *Commentaire pratique LAT : Planification directrice et sectorielle, pesée des intérêts*, Zurich 2019 (Comm. pratique LAT, art. ... N ...)

JUNGO FABIA, Le principe de précaution en droit de l'environnement Suisse, avec des perspectives de droit international et de droit européen, *Diss. Lausanne* 2011, Zurich 2012.

KOLB ROBERT, To What Extent May Hard Law Content Be Incorporated Into Soft Instruments?, *SRIEL* 2019, 335 sq.

KRADOLFER MATTHIAS, Interdisziplinäres Wissen im Gerichtsverfahren, dans : *ZSR* 2023/I, p. 489 sq.

KRADOLFER MATTHIAS, Interdisziplinäres Wissen in der Rechtsprechung: Eine verfassungsrechtliche Annäherung, dans : « *Justice – Justiz – Giustizia* » 2022/4.

KRAMER ERNST A., *Juristische Methodenlehre*, 5e édition, Berne 2016.

KUCKARTZ UDO, Sozialwissenschaftliche Ansätze für die kategorienbasierte Textanalyse, dans : Kuckartz Udo, *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten*, Wiesbaden 2019, VS Verlag für Sozialwissenschaften, p. 72 sq.

LI HUANQING/LI XIAOZHAO/SOH CHEE KIONG, An integrated strategy for sustainable development of the urban underground: From strategic, economic and societal aspects. *Tunnelling and Underground Space Technology* 2016/55, p. 67 sq.

MARTI URSULA, Das Vorsorgeprinzip im Umweltrecht, Am Beispiel der internationalen, europäischen und schweizerischen Rechtsordnung, *Diss. Genf*, Genève 2011.

MEYER CHRISTIAN, Die Regulierung des Heizkesslersatzes: Im Netz von hard law und soft law, Prinzipien und Regeln, *AJP* 2023, p. 709 sq.

MUGGLI RUDOLF, 40 Jahre Raumplanungsrecht – Lehren für heute?, *URP* 2022, p. 129 sq.

MÜLLER GEORG/UHLMANN FELIX, *Elemente einer Rechtssetzungslehre*, 3e édition Zurich/Bâle/Genève 2013.

PARRIAUX AURÈLE/BLUNIER PASCAL/MARIE PIERRICK/TACHER, *The Urban Underground in the Deep City Project: for Construction but Not Only*. Laboratory of Engineering and Environmental Geology, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne 2008.

PARRIAUX AURÈLE/BLUNIER PASCAL/MARIE PIERRICK/TACHER LAURENT, *The DEEP CITY Project: A Global Concept for a Sustainable Urban Underground Management*, 11th ACUUS International Conference, *Underground Space: Expanding the Frontiers* 2007, p. 255 sq.

PARRIAUX AURÈLE/TACHER LAURENT/ JOLIQUE PATRIC, The hidden side of cities - Towards three-dimensional land planning. *Energy and Buildings* 2004/36, n° 4, p. 335 sq.

PFISTERER LUKAS, *Verwaltungsverordnungen des Bundes*, Zurich 2007.

POLK, MERRITT/KNUTSSON, PER, Participation, Value Rationality and Mutual Learning in Transdisciplinary Knowledge Production for Sustainable Development. *Environmental Education Research* 14, 2008, n° 6, p. 643–53.

PRELL CHRISTINA, *Social Network Analysis: History, Theory and Methodology*. London 2011, Sage Publications Ltd.

PRICE S. J./FORD JONATHAN RICHARD/CAMPBELL S. D. G./ JEFFERSON IAN F., Urban futures: The sustainable management of the ground beneath cities. *Geological Society Engineering Geology Special Publication* 2016/27, n° 1, S.19 sq.

RUCH ALEXANDER, Nutzung des Untergrunds: Raumplanerische und umweltrechtliche Aspekte, dans : *Sicherheit & Recht* 1/2022, p. 22 sq.

RUCH ALEXANDER, art. 25 LAT, dans : Aemisegger Heinz/Moor Pierre/Ruch Alexander/Tschannen Pierre, *Commentaire pratique LAT : Commentaire pratique LAT : Autorisation de construire, protection juridique et procédure*, Zurich 2020 (Comm. pratique LAT, art. ... N ...).

STALDER H. A., Beschreibung der geschützten Mineralkluft Gerstenegg, Grimsel, Bern, dans : *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern* 1986, p. 41 sq.

STREIFF OLIVER, art. 75a Cst., dans : Ehrenzeller/Egli/Hettich/Hongler/Schindler/Schmid/Schweizer (Hrsg.), *Die schweizerische Bundesverfassung, St. Galler Kommentar*, 4e édition., Zurich 2023 (SGK-BV, art. ... n° ...).

THURNHERR DANIELA, Rechtsschutz im Kontext von Soft Law – eine Auslegeordnung, *LeGes* 2018/3 n° 7.

TRAPPMANN MARK/HUMMELL HANS J./SODEUR WOLFGNAG, *Strukturanalyse sozialer Netzwerke. Konzepte, Modelle, Methoden*, 2e édition Wiesbaden 2011, VS Verlag für Sozialwissenschaften.

TSCHANNEN PIERRE, art. 8 LAT, dans : Aemisegger Heinz/Moor Pierre/Ruch Alexander/Tschannen Pierre, *Commentaire pratique LAT : Planification directrice et sectorielle, pesée des intérêts*, Zurich 2019 (Comm. pratique LAT, art. ... N ...).

TSCHANNEN PIERRE/ MÜLLER MARKUS/KERN MARKUS, *Allgemeines Verwaltungsrecht*, 5e édition Berne 2022.

UHLMANN FELIX/BINDER IRIS, *Verwaltungsverordnungen in der Rechtsetzung: Gedanken über Pechmarie*, dans : *LeGes* 20, 2009, p. 2 sq.

UHLMANN FELIX/BUSSMANN WERNER, art. 170 Cst., dans : Ehrenzeller/Egli/Hettich/Hongler/Schindler/Schmid/Schweizer (Hrsg.), *Die schweizerische Bundesverfassung, St. Galler Kommentar*, 4e édition., Zurich 2023 (SGK-BV, art. ... n° ...).

UHLMANN FELIX/LENDI MARTIN, art. 87 Cst., dans : Ehrenzeller/Egli/Hettich/Hongler/Schindler/Schmid/Schweizer (Hrsg.), *Die schweizerische Bundesverfassung, St. Galler Kommentar*, 4e édition, Zurich 2023 (SGK-BV, art. ... n° ...).

VOGEL STEFAN, art. 83 Cst., dans : Ehrenzeller/Egli/Hettich/Hongler/Schindler/Schmid/Schweizer

(Hrsg.), Die schweizerische Bundesverfassung, St. Galler Kommentar, 4e édition., Zurich 2023 (SGK-BV, art. ... n° ...).

VOLCHKO YEVHENIYA/NORRMAN JENNY/ERICSSON LARS O./NILSSON KRISTINA L./ MARKSTEDT ANDERS/ÖBERG MARIA/MOSSMARK FREDERIK/BOBYLEV NIKOLAI/TENGBORG PER, Subsurface planning: Towards a common understanding of the subsurface as a multifunctional resource, Land Use Policy 2020/90.

VON DER TANN LORETTA/STERLING RAYMOND/ZHOU YINGXIN/METJE NICOLE, Systems approaches to urban underground space planning and management – A review. *Underground Space*, 2020/5, n° 2, p. 144 sq.

WALDMANN BERNHARD/HÄNNI BERNHARD, Raumplanungsgesetz, Bundesgesetz vom 22. Juni 1979 über die Raumplanung (RPG), Berne 2006.

Liste du matériel

Conférence suisse des directeurs cantonaux des travaux publics, de l'aménagement du territoire et de l'environnement (DTAP)/Organe de coordination de la géoinformation au niveau fédéral (GCS), Stratégie suisse pour la géoinformation, version du 2 novembre 2020 (citation : DTAP/GCS, Stratégie suisse pour la géoinformation)

Rapport de la Commission de gestion du Conseil national du 28 juin 2022, Protection des eaux souterraines en Suisse (citation : Rapport CdG-N)

Message relatif à une nouvelle constitution fédérale du 20 novembre 1996, FF 1997, p. 1 sq. (citation : Message Révision totale CF)

Message concernant la loi fédérale sur le transport souterrain de marchandises du 28 octobre 2020, FF 2020 p. 8537 sq. (citation : Message LTSM)

Message concernant la modification de la loi sur la géoinformation du 23 août 2023, FF 2023, p. 2059 sq. (citation : Message LGéo).

Botschaft zu einem Bundesgesetz über die Koordination und Vereinfachung der Plangenehmigungsverfahren du 25 février 1998, BBl 1998 p. 2591 sq. (citation : message Loi sur la coordination)

Commission fédérale de géologie (CFG), Stratégie Sous-sol Suisse, version finale pour l'adoption par la CFG jusqu'au 5 décembre 2022 (citation : CFG, Stratégie Sous-sol)

Merkblatt Bauten im Grundwasser du 19 juillet 2022, Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau (citation : Feuillet d'information Constructions dans la nappe souterraine)

Merkblatt Bauvorhaben in Grundwasserleitern und Grundwasserschutzzonen, AWEL 2009 (citation : Feuillet d'information AWEL)

swisstopo, rapport au Conseil fédéral du 20 avril 2021, plan d'action, Numérisation du sous-sol géologique – Contexte, défi et mesures (citation : swisstopo, Rapport Numérisation)

Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines, L'environnement pratique, OFEFP 2004 (citation : Instructions Protection des eaux souterraines)

Liste des ordonnances

Confédération

aCst	ancienne Constitution fédérale
Ordonnance sur la protection des ouvrages	Ordonnance du 2 mai 1990 concernant la protection des ouvrages militaires, RS 510.518.1
Cst.	Constitution fédérale de la Confédération suisse du 18 avril 1999, RS 101
LTF	Loi du 17 juin 2005 sur le Tribunal fédéral, RS 173.110
Ordonnance sur le CO ₂	Ordonnance du 30 novembre 2012 sur la réduction des émissions de CO ₂ , RS 641.711
LCdF	Loi fédérale du 20 décembre 1957 sur les chemins de fer, RS 742.101
LIE	Loi fédérale du 24 juin 1902 concernant les installations électriques à faible et à fort courant, RS 734.0
LGéo	Loi fédérale du 5 octobre 2007 sur la géoinformation, RS 510.62
LEaux	Loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (loi sur la protection des eaux), RS 814.20
OEaux	Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux, RS 814.201
LENu	Loi du 21 mars 2003 sur l'énergie nucléaire, RS 732.1
OENu	Ordonnance du 10 décembre 2004 sur l'énergie nucléaire, RS 732.11
OGN	Ordonnance du 21 mai 2008 sur la géologie nationale, RS 510.624
LAAM	Loi fédérale du 3 février 1995 sur l'armée et l'administration militaire, RS 510.10
LITC	Loi fédérale du 4 octobre 1963 sur les installations de transport par conduites de combustibles ou carburants liquides ou gazeux (loi sur les installations de transport par conduites), RS 746.1
OSITC	Ordonnance du 4 juin 2021 concernant les prescriptions de sécurité pour les installations de transport par conduites, RS 746.12
OTIC	Ordonnance du 26 juin 2019 sur les installations de transport par conduites de combustibles ou de carburants liquides ou gazeux, RS 746.11
LAT	Loi fédérale du 22 juin 1979 sur l'aménagement du territoire, RS 700
OAT	Ordonnance du 28 juin 2000 sur l'aménagement du territoire, RS 700.1
LApEI	Loi fédérale du 23 mars 2007 sur l'approvisionnement en électricité, RS 734.7
LTSM	Loi fédérale du 17 décembre 2021 sur le transport souterrain de marchan-

dises, RS 749.1

LPE Loi fédérale du 7 octobre 1983 sur la protection de l'environnement, RS 814.01

OPIE Ordonnance du 2 février 2000 sur la procédure d'approbation des plans des installations électriques, RS 734.25

CC Code civil suisse du 10 décembre 1907, RS 210

Cantons

Canton de Zurich

EG GSchG/ZH Einführungsgesetz zum Gewässerschutzgesetz du 8 décembre 1974, LS 711.1

GNU/ZH Gesetz über die Nutzung des Untergrundes du 25 mai 2020, LS 725.1

KGeolG/ZH Kantonales Geoinformationsgesetz du 24 octobre 2011, LS 704.1

KGeolV/ZH Kantonale Geoinformationsverordnung du 27 juin 2012, LS 704.11

KGSchV/ZH Verordnung über den Gewässerschutz du 22 janvier 1975, LS 711.11

VNU/ZH Verordnung über die Nutzung des Untergrundes du 5 avril 2023, LS 725.11

WWG/ZH Wasserwirtschaftsgesetz du 2 juin 1991, LS 724.11

Canton d'Argovie

EG UWR Einführungsgesetz zur Bundesgesetzgebung über den Schutz von Umwelt und Gewässern du 4 septembre 2007, SAR 781.200

GNB/AG Gesetz über die Nutzung des tiefen Untergrunds und die Gewinnung von Bodenschätzen du 19 juin 2012, SAR 671.200

KGeolG/AG Gesetz über die Geoinformation im Kanton Aargau du 24 mai 2011, SAR 740.100

KGeolV/AG Verordnung über die Geoinformation im Kanton Aargau du 16 novembre 2011, SAR 740.111

WnD Wassernutzungsabgabendeckret du 18 mars 2008 SAR 764.110

WnG/AG Wassernutzungsgesetz du 11 mars 2008, SAR 764.100

WnV/AG Wassernutzungsverordnung du 23 avril 2008, SAR 764.111

Canton de Vaud

LCG Loi sur le cadastre géologique du 6 novembre 2007, BLV 211.65

LESDP Loi réglant l'occupation et l'exploitation des eaux souterraines dépendant du domaine public cantonal du 12 mai 1948, BLV 721.03

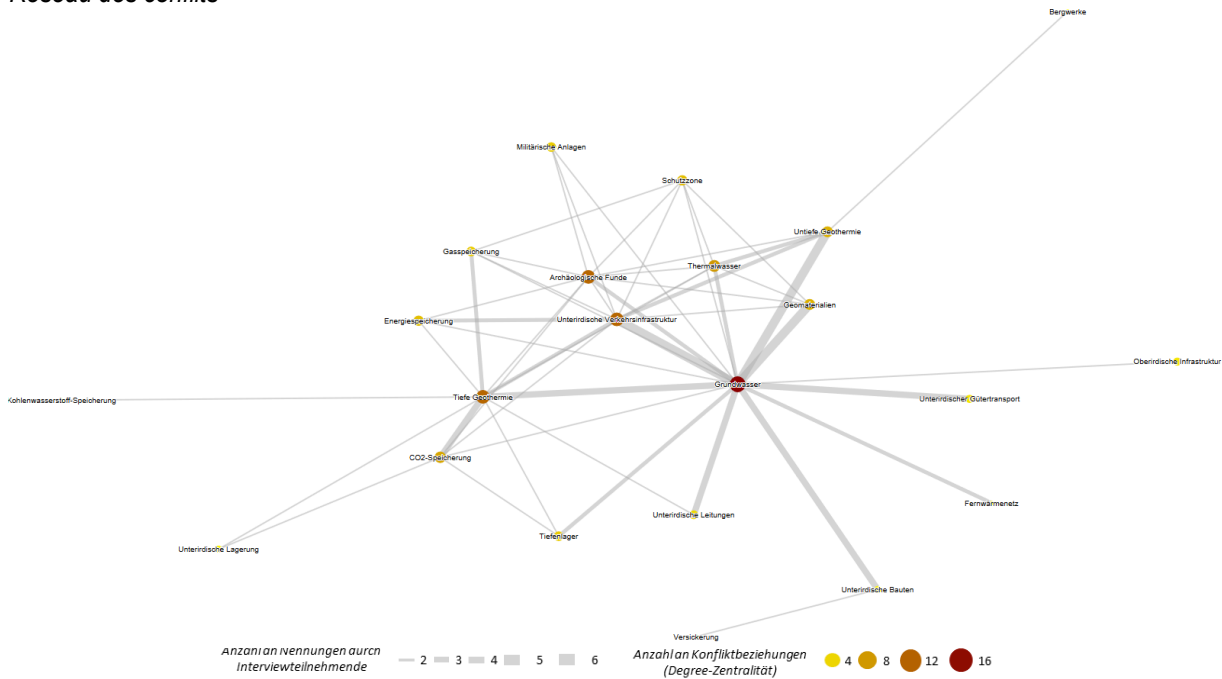
LLC	Loi sur l'utilisation des lacs et cours d'eau dépendant du domaine public du 5 septembre 1944, BLV 731.01
LPDP	Loi sur la police des eaux dépendant du domaine public du 3 décembre 1957, BLV 721.01
LPEP	Loi sur la protection des eaux contre la pollution du 17 septembre 1974, BLV 814.31
LRNSS	Loi sur les ressources naturelles du sous-sol du 18 décembre 2018, BLV 730.02
RLLC	Règlement d'application de la loi du 5 septembre 1944 sur l'utilisation des lacs et cours d'eau dépendant du domaine public et de la loi du 12 mai 1948 réglant l'occupation et l'exploitation des eaux souterraines dépendant du domaine public cantonal du 17 juillet 1953, BLV 731.01.1
RLRNSS	Règlement sur les ressources naturelles du sous-sol du 18 décembre 2018, BLV 730.02.1

Annexe

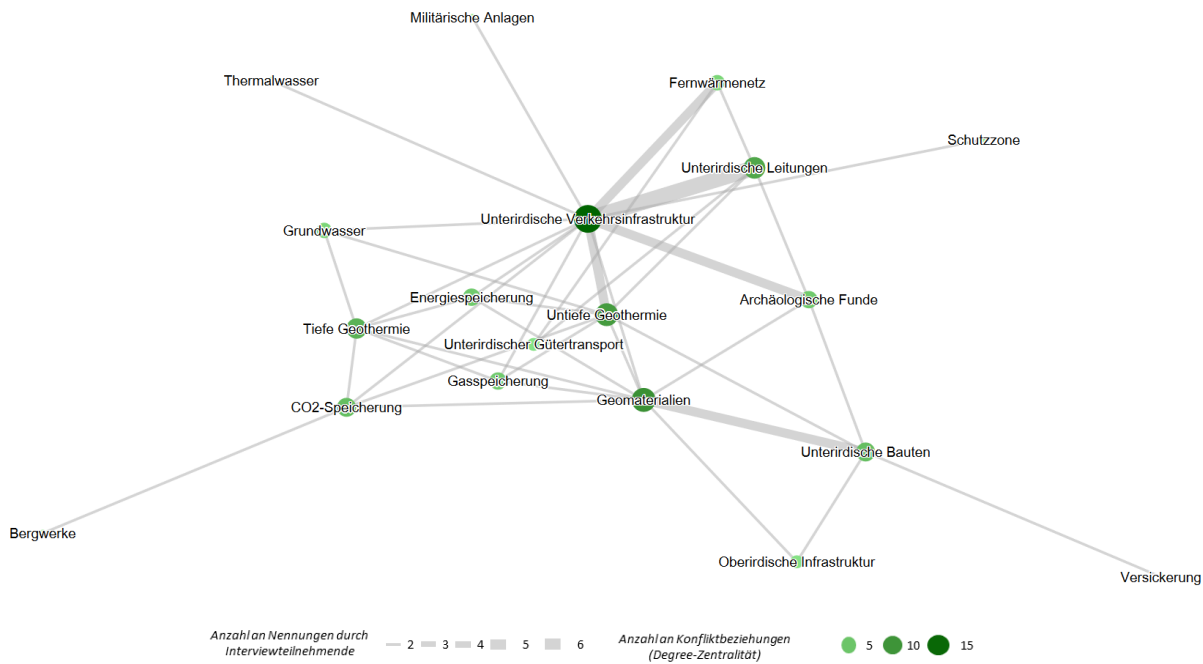
Analyse des réseaux de conflits et de synergies selon le groupe d'acteurs (annexes 1-3)

Annexe 1 : réseau des conflits et des synergies, sur la base des entretiens avec les autorités cantonales des cantons de Vaud, de Zurich et d'Argovie (N=6). Créé avec le logiciel R.

Réseau des conflits

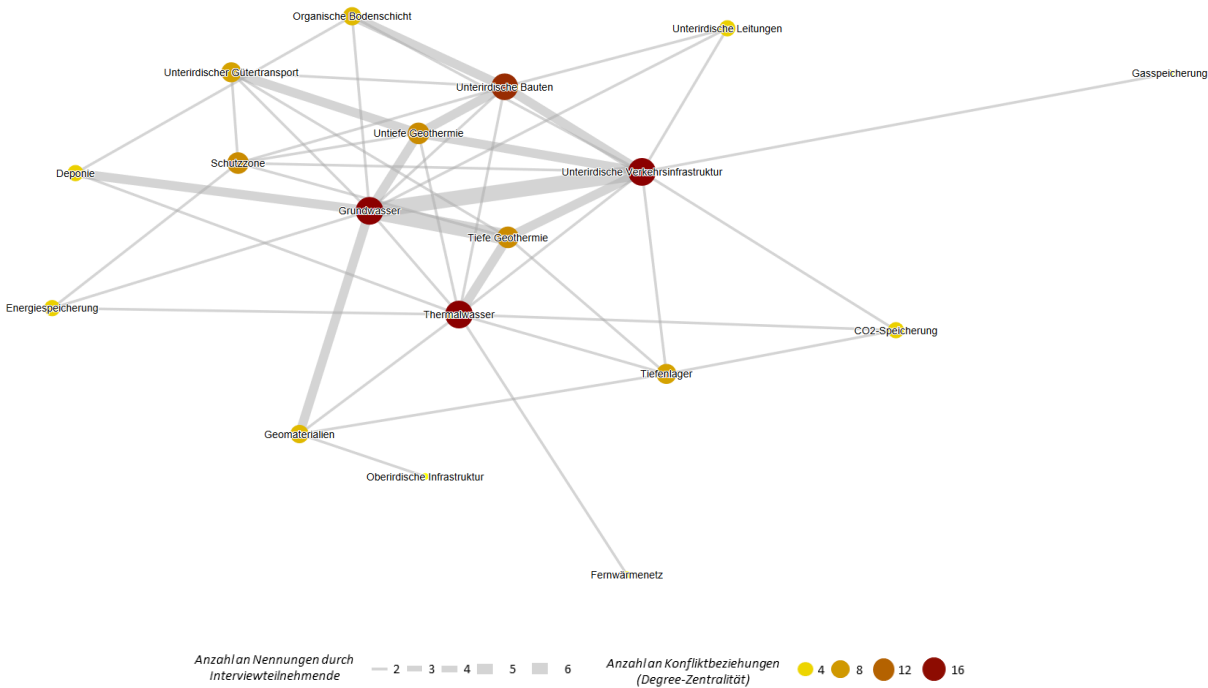


Réseau des synergies

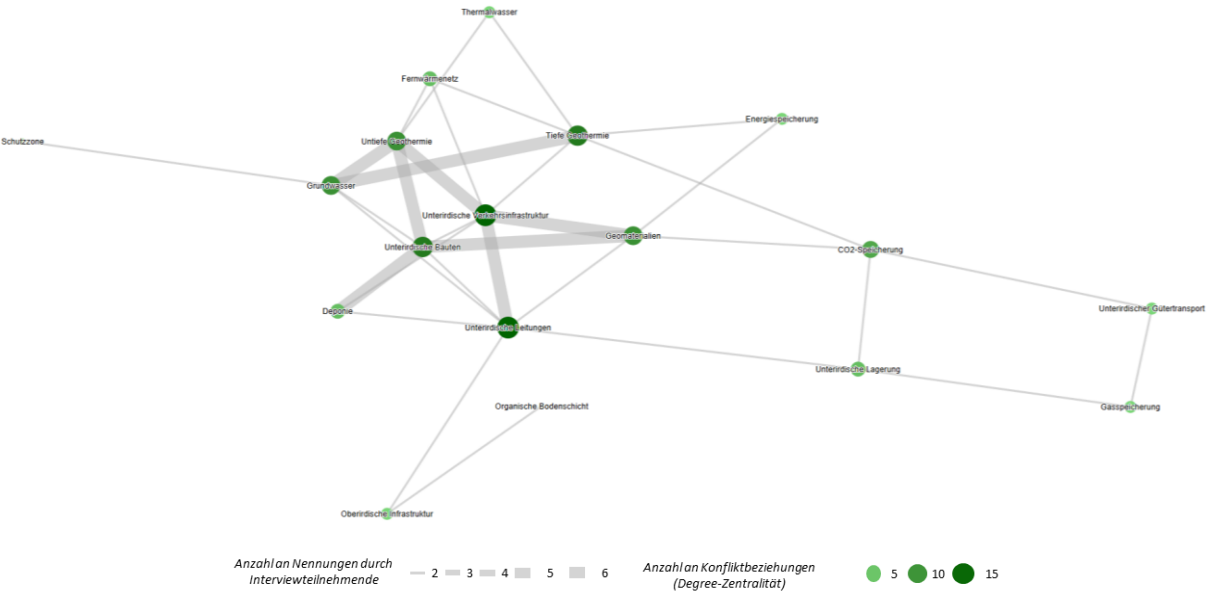


Annexe 2 : réseau des conflits et des synergies, sur la base des entretiens avec les associations des cantons de Vaud, de Zurich et d'Argovie (N=6). Créé avec le logiciel R.

Réseau des conflits

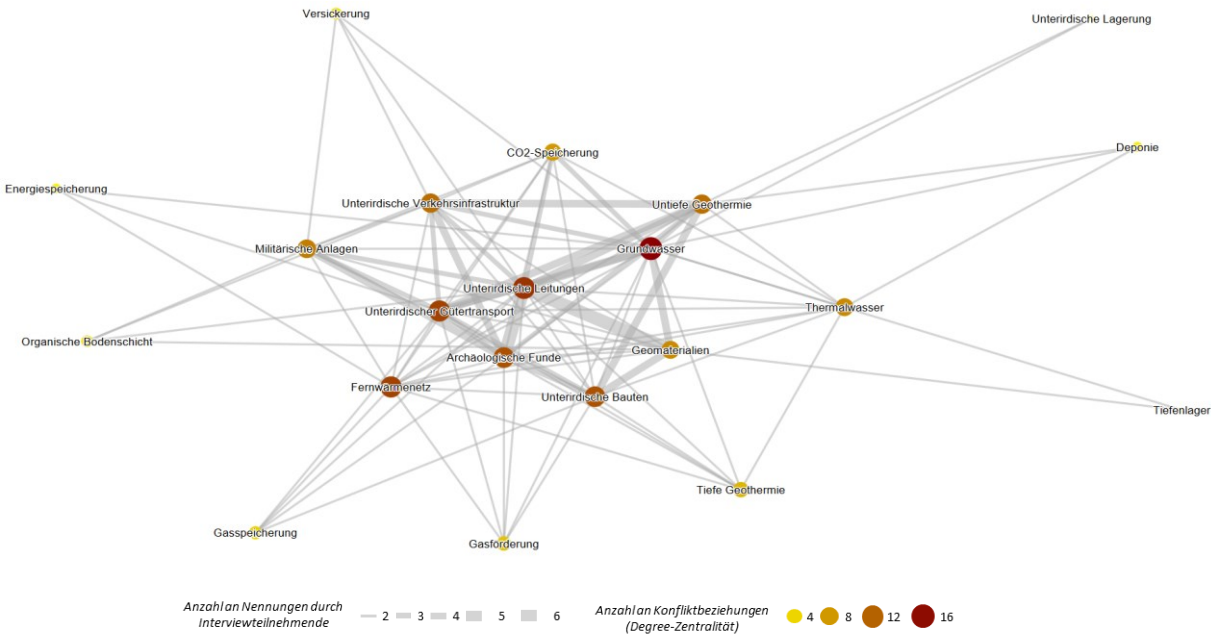


Réseau des synergies



Annexe 3 : réseau des conflits et des synergies, sur la base des entretiens avec l'industrie locale des cantons de Vaud, de Zurich et d'Argovie (N=6). Créé avec le logiciel R.

Réseau des conflits



Réseau des synergies

