



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 200954 - 2700206 - v2.0

08/10/2021

Analyse de la législation et de la réglementation liées au
stockage souterrain d'hydrogène

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction Sites et Territoires

Rédaction : GOMBERT Philippe - WEINBERGER BENNO; LAHAIE FRANZ

Vérification : THORAVAL ALAIN

Approbation : Document approuvé le 08/10/2021 par BAROUDI HAFID

Liste des personnes ayant participé à l'étude :

Table des matières

1	Introduction	5
1.1	Contexte et objectif du rapport	5
1.2	Rappel du concept de stockage souterrain d'hydrogène en cavité saline.....	6
1.3	Description des installations envisagées dans un stockage souterrain d'hydrogène.....	7
1.4	Principaux risques et impacts liés au stockage souterrain de l'hydrogène.....	8
1.5	Perspectives du stockage souterrain d'hydrogène en Europe.....	9
1.6	Plan du rapport	10
2	Cadre réglementaire applicable aux installations de surface des stockages souterrains d'hydrogène ou de gaz analogues.....	11
2.1	Réglementation européenne applicable aux stockages superficiels d'hydrogène et transpositions en droit français	11
2.2	Réglementation française	11
2.2.1	Electrolyseurs	11
2.2.2	Compresseur	12
2.2.3	Installations mettant en œuvre de l'hydrogène.....	12
2.3	Réglementation allemande	13
2.3.1	Electrolyseurs	13
2.3.2	Compresseurs	13
2.3.3	Installations mettant en œuvre de l'hydrogène.....	14
3	Cadre réglementaire applicable à la partie souterraine des stockages souterrains d'hydrogène ou de gaz analogues.....	15
3.1	Etat des réflexions à l'échelle européenne	15
3.2	Réglementation française	15
3.2.1	Législation applicable aux stockages souterrains visés au livre II du code minier en matière de titre minier (permis exclusif de recherche et concession d'exploitation).....	16
3.2.2	Législation applicable aux stockages souterrains d'hydrogène en matière d'autorisation et éventuelles interactions entre la législation minière et celle des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE).....	16
3.3	Réglementation sur les stockages souterrains de gaz en Allemagne.....	20
3.3.1	La loi fédérale sur les mines du 13 août 1980 - Bundesberggesetz (BBergG).....	20
3.3.2	Arrêté sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement des projets miniers (UVP-V Bergbau) et notamment des stockages souterrains.....	21
4	Conclusion	22
5	Références.....	24
6	Annexes.....	27

Résumé

La loi énergie-climat du 8 novembre 2019 prévoit de porter la part des énergies renouvelables à au moins 33% de la consommation d'énergie brute finale d'ici 2030. Certaines d'entre elles ayant un caractère intermittent ou fluctuant, leur développement nécessitera le recours à des solutions de stockage massif de l'énergie. L'une de ces solutions consiste à utiliser l'électricité excédentaire, lors des périodes de surproduction ou de sous-consommation électrique, pour produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau, puis à stocker cet hydrogène en milieu souterrain. Le stockage souterrain présente en effet de nombreux avantages : moindre emprise au sol, éloignement du produit dangereux par rapport aux enjeux de surface, grands volumes de stockage. De plus, la France possède un sous-sol adapté et dispose d'une filière déjà mature pour le stockage du gaz naturel, ce qui pourrait profiter au développement du stockage souterrain de l'hydrogène dans les prochaines années.

Pour se préparer au développement de cette filière émergente et des risques spécifiques qu'elle présente, il est important que la France dispose d'un cadre réglementaire adapté. Dans le cadre du programme d'appui DRS-07, l'Ineris a entrepris de faire un examen de la réglementation française existante. Cette étude s'appuie notamment sur une comparaison avec le dispositif réglementaire déjà mis en place pour les stockages souterrains de gaz analogues (CH₄, He), tant en France qu'en Allemagne.

Le présent document aborde, dans un premier temps, la réglementation liée aux installations de surface susceptibles d'être déployées au droit d'un stockage souterrain d'hydrogène (électrolyseur, compresseur, etc.), puis celle liée aux ouvrages souterrains *sensu stricto* (puits, cavité).

Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, , Verneuil-en-Halatte : Ineris - 200954 - v2.0, 08/10/2021.

Mots-clés :

Stockage ; Hydrogène ; Législation ; Réglementation ; Risques ; France ; Allemagne

1 Introduction

1.1 Contexte et objectif du rapport

La loi énergie-climat du 8 novembre 2019¹ prévoit de porter la part des énergies renouvelables à au moins 33% de la consommation d'énergie brute finale d'ici 2030. Cet objectif ambitieux témoigne d'une volonté de la France de décarboner son modèle énergétique et notamment, son système électrique. Certaines énergies renouvelables (le solaire ou l'éolien notamment) ayant un caractère intermittent ou fluctuant, leur imprégnation croissante dans le système électrique nécessitera de recourir à des solutions de stockage massif de l'énergie.

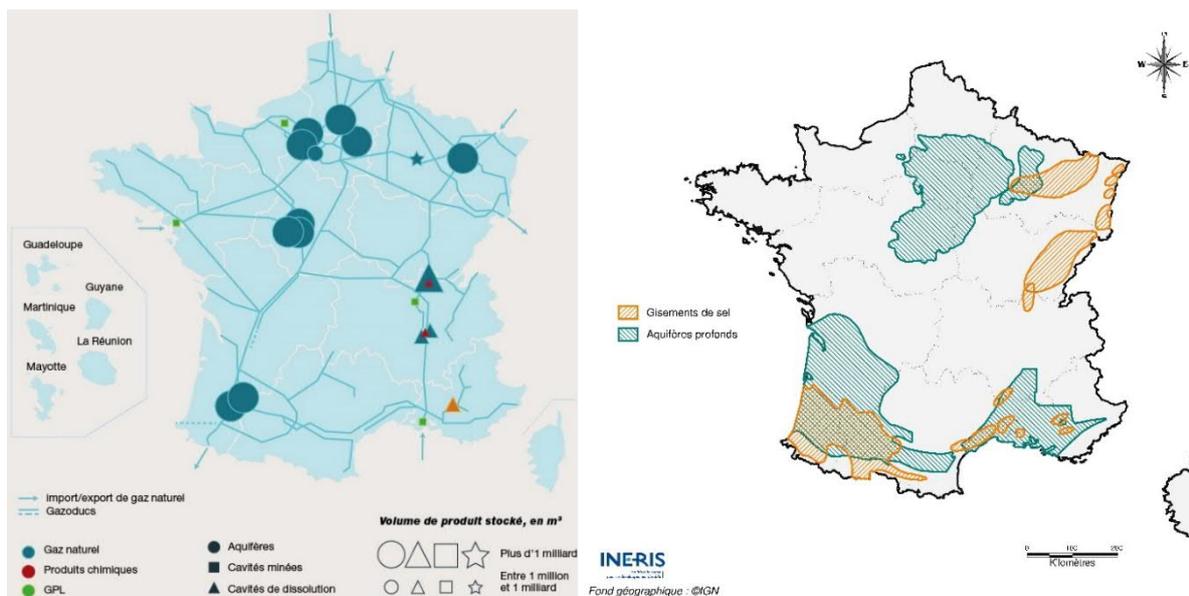
L'une de ces solutions consiste à convertir cette électricité issue des énergies renouvelables en hydrogène, par électrolyse de l'eau, puis à stocker cet hydrogène. Pour cela, le milieu souterrain présente de nombreux avantages : moindre emprise au sol, éloignement du produit dangereux par rapport aux enjeux de surface, grands volumes de stockage, possibilité de stocker sous forte pression. De plus, le stockage de produits liquides ou gazeux dans le sous-sol est pratiqué depuis le début du 20^{ème} siècle aux Etats-Unis et depuis les années 1950 en France. On compte ainsi plus de 600 sites de stockages souterrains dans le monde, essentiellement dédiés au stockage de gaz naturel et d'hydrocarbures. En France, 23 sites de stockage sont opérationnels (*Figure 1a*) hébergeant au total une centaine de réservoirs souterrains dont une majorité de cavités salines, ainsi que des aquifères, des cavités minées et un gisement déplété (Ineris, 2016 ; Géologues, 2018). Toutes ces options sont à l'étude pour le stockage de l'hydrogène, comme le montrent les projets en cours : « Underground Sun Storage » en gisement déplété en Autriche (Bauer et al., 2017), HyChico également en gisement déplété en Argentine (Bader, 2015 ; Pérez et al. 2016), HYBRIT en cavité minée en Suède (SSAB, 2019), ou diverses études concernant des aquifères (Pfeiffer & Bauer, 2015 ; Hagemann et al., 2016 ; Sørensen, 2007). Cependant, le stockage en cavités salines apparaît aujourd'hui comme la solution la plus mature, au moins à court-terme, pour répondre aux besoins de la transition énergétique, du fait notamment de l'étanchéité naturelle remarquable offerte par le sel et de la possibilité d'y effectuer des cycles rapides (journaliers ou hebdomadaires par exemple).

En outre, dans la continuité du « Plan national de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique » présenté en juin 2018 (MTES, 2018), le Gouvernement a dévoilé le 8 septembre 2020 sa « Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France » (Gouvernement, 2020). Ces différentes annonces témoignent de la volonté de la France de soutenir le développement de l'hydrogène décarboné, présenté comme « l'une des grandes révolutions de notre siècle, [notamment] pour stocker l'énergie et apporter des réponses complémentaires à l'intermittence des énergies renouvelables ».

Pour favoriser le développement d'une filière de stockage souterrain d'hydrogène en France, il est important de s'assurer que le cadre réglementaire est adapté et, le cas échéant, d'identifier les évolutions nécessaires pour assurer un développement maîtrisé de cette filière, notamment sur le plan de la sécurité et de l'environnement.

L'objectif de ce rapport est d'examiner la réglementation applicable au stockage souterrain d'hydrogène en France, en la comparant aux dispositifs réglementaires déjà mis en place pour les stockages souterrains de gaz analogues (CH₄, He), tant en France qu'en Allemagne.

¹ Loi n°2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat



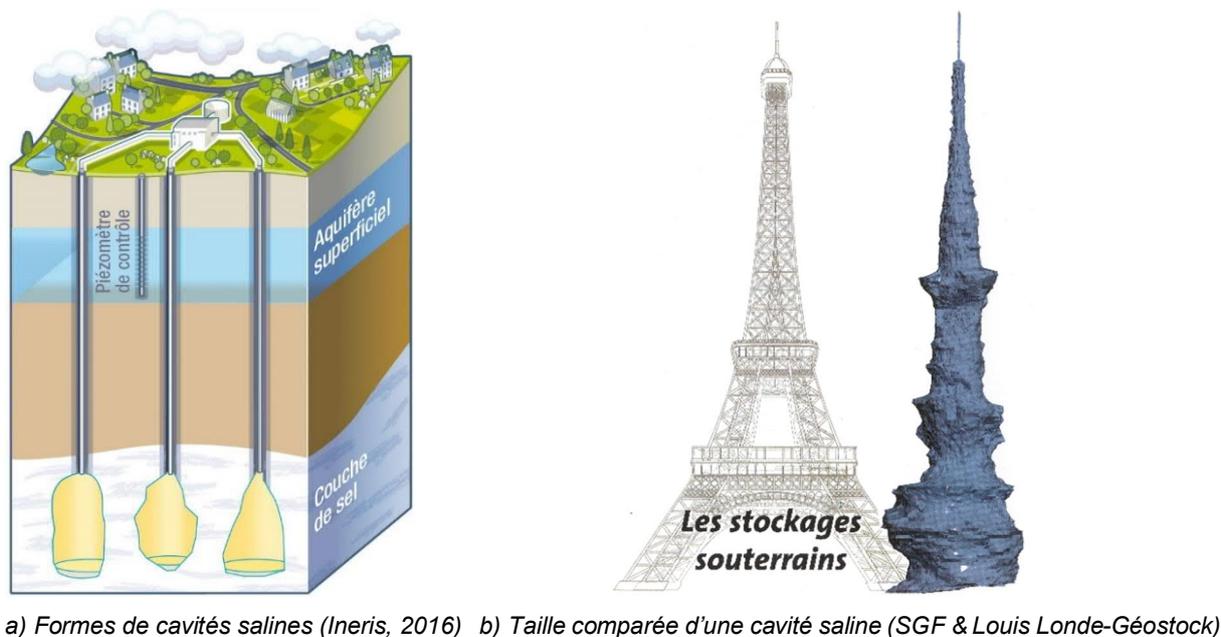
a) Les stockages souterrains en France

b) Gisements de sel et aquifères profonds

Figure 1. Stockages souterrains actuels et sites potentiels en France (Ineris, 2016)

1.2 Rappel du concept de stockage souterrain d'hydrogène en cavité saline

Une cavité saline ou cavité de dissolution est une cavité souterraine creusée par injection d'eau douce au sein d'une formation saline profonde. De telles formations existent dans le nord-est, le sud-est et le sud-ouest de la France, entre 500 m et 1500 m de profondeur (Figure 1b). La forte solubilité du sel à l'eau permet d'y créer de très grandes cavités, de l'ordre du million de m³ (Figure 2). Le volume de stockage cumulé des cavités salines françaises est ainsi actuellement de 23 millions de m³. Le sel a en outre des propriétés très intéressantes pour le confinement des produits liquides ou gazeux non aqueux (porosité négligeable, très faible perméabilité, inertie chimique). Quant à ses caractéristiques mécaniques, elles autorisent une fréquence hebdomadaire de cycles d'injection-soutirage, ce qui permet de stocker des réserves stratégiques sur une longue période tout en répondant à des pics temporaires de demande (Ineris, 2016).



a) Formes de cavités salines (Ineris, 2016)

b) Taille comparée d'une cavité saline (SGF & Louis Londe-Géostock)

Figure 2. Illustrations d'un stockage souterrain en cavité saline

Il existe actuellement dans le monde quatre stockages souterrains d'hydrogène opérationnels pour des besoins industriels², situés au Royaume-Uni et aux Etats-Unis, mais aucun destiné au stockage de l'énergie (*Tableau 1*).

Tableau 1. Caractéristiques des stockages souterrains d'hydrogène en cavités salines

Site	Clemens Dome	Moss Bluff	Spindletop	Teesside
Pays	Etats-Unis (Texas)	Etats-Unis (Texas)	Etats-Unis (Texas)	Royaume-Uni (Yorkshire)
Exploitant	Conoco Phillips	Praxair	Air Liquide	ICI
Date	1983	2007	~2016	~1970
Profondeur	800 m ⁽³⁾	800 m ⁽³⁾	1500 m	350 à 450 m ⁽³⁾
Diamètre	50 m	~60 m	70 m	n.c.
Volume de cavité	580 000 m ³	566 000 m ³	906 000 m ³	3 x 70 000 m ³
Gamme de pression	70 - 137 bar	55 - 152 bar	68 - 202 bar	45 bar
Volume stocké	30 millions de m ³	36 millions de m ³	90 millions de m ³	10 millions de m ³
Masse stockée	2 500 t	3 700 t	8 200 t	850 t

1.3 Description des installations envisagées dans un stockage souterrain d'hydrogène

Un certain nombre d'installations est nécessaire pour opérer un stockage souterrain. En se basant sur l'infrastructure des sites actuels de stockage souterrain de gaz naturel (*Figure 3a*), ceux dédiés à l'hydrogène pourraient comporter les installations et ouvrages suivants (*Figure 4, Figure 5*) :

- un électrolyseur ou un autre procédé de production d'hydrogène⁴ (reformage de biométhane à la vapeur, gazéification de la biomasse, etc.) ;
- des canalisations pour son transport ;
- des installations de compression, de traitement et de stockage temporaire (comportant déshumidificateur, dépressurisation, échangeur de chaleur, etc.) ;
- un puits menant à chaque cavité pour l'injection et le soutirage du gaz ;
- une (ou plusieurs) cavité(s) saline(s) pour son stockage ;
- un dispositif de gestion de la saumure servant à contrebalancer, si nécessaire⁵, la pression du gaz dans la cavité (bassins, pompes).



a) Manosque, France (Bérest, 2018)

b) Carriço, Portugal (Cunha, 2018)

Figure 3. Vue des installations de surface pour deux exemples de sites de stockage de gaz naturel

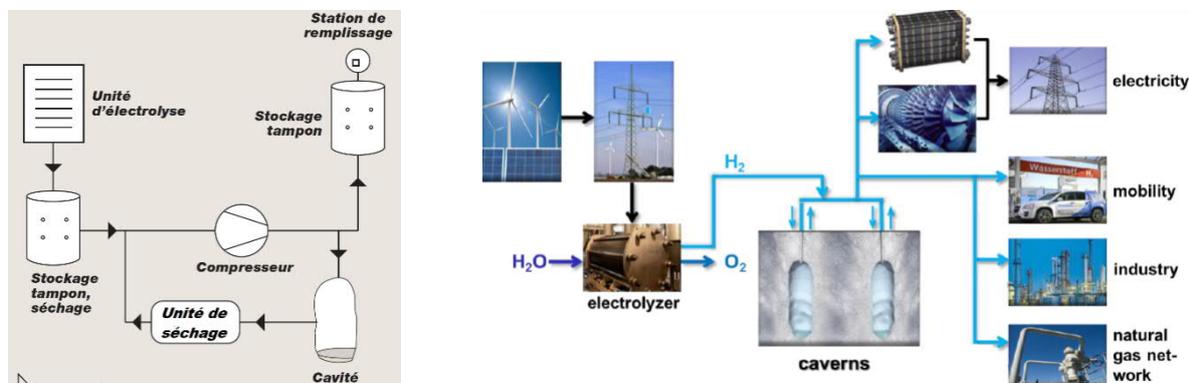
² On distingue l'hydrogène utilisé pour des usages industriels dans la chimie et le raffinage (usage quasi-exclusif aujourd'hui) de celui qui servira de vecteur d'énergie dans le domaine des transports, dans les filières gaz, ou dans la production d'électricité et de chaleur.

³ D'après l'article de Caglayan et al. (2020), les cavités stockant de l'hydrogène seraient entre 350 et 450 m de profondeur sur ce site.

⁴ L'unité de production d'hydrogène ne doit pas être nécessairement implantée sur le site de la cavité.

⁵ Le stockage d'hydrogène en cavité saline s'opère généralement en gaz par pressurisation/dépressurisation, sans nécessiter de balancement de saumure.

En outre, suivant l'utilisation finale de l'hydrogène ainsi stocké (Figure 4b), d'autres équipements pourront s'avérer nécessaire comme une pile à combustible pour sa reconversion en électricité ou une unité de méthanation pour sa transformation en méthane. On notera qu'il existe aussi la possibilité d'utiliser directement l'hydrogène produit sans le convertir, notamment en le mélangeant avec du gaz naturel (jusqu'à une proportion de 5 à 10%) ou tel quel pour la mobilité (véhicules à hydrogène).



a) Schéma des installations d'un stockage souterrain d'hydrogène (d'après Ineris, 2016)

b) Cycle de vie de l'hydrogène stocké en cavité saline (SMRI)

Figure 4. Installations nécessaires au stockage souterrain de l'hydrogène et à son utilisation finale

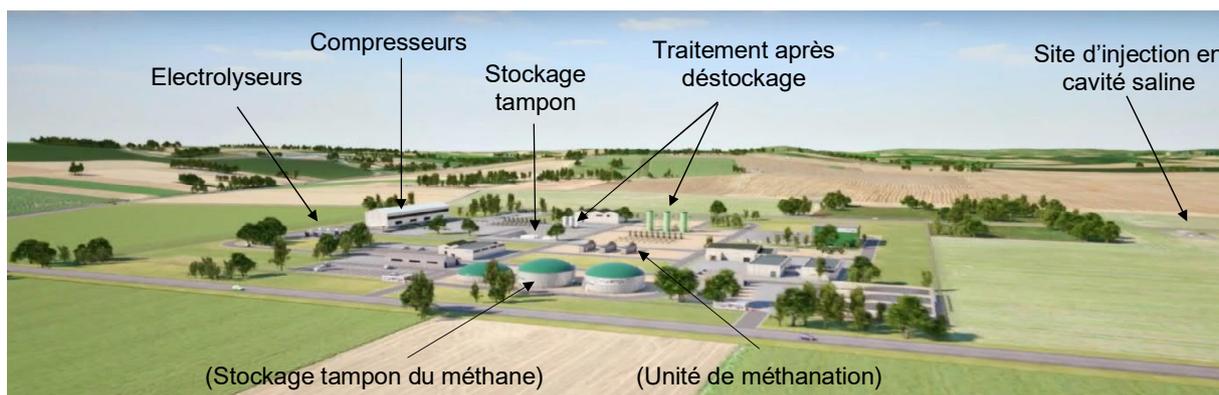


Figure 5. Vue d'un futur site de production et de stockage souterrain d'hydrogène (d'après Storengy⁶). L'image présentée correspond à la filière Power-To-Gas et comprend donc également une unité de méthanation et de stockage de méthane dont les éléments sont mentionnés entre parenthèses

1.4 Principaux risques et impacts liés au stockage souterrain de l'hydrogène

Les principaux risques qui peuvent affecter un stockage souterrain d'hydrogène sont globalement les mêmes que ceux qui caractérisent un stockage souterrain de gaz naturel. Bien que globalement rare, le premier d'entre eux concerne la perte d'étanchéité d'un élément du stockage, que ce soit en surface ou en souterrain, pouvant mener à des phénomènes d'inflammation, d'explosion ou de contamination de nappes souterraines.

Toutefois, le retour d'expérience du stockage souterrain de l'hydrogène est beaucoup plus faible (seuls 4 stockages dans le monde, uniquement en cavités salines) et les spécificités physiques et structurales de l'hydrogène incitent à penser que certains risques pourraient être accrus.

D'abord, la grande mobilité de la molécule d'hydrogène, induite par sa très petite taille moléculaire, et sa réactivité potentielle avec certaines espèces chimiques susceptibles d'être présentes à l'intérieur de

⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=887r7HI5P14> (accédé le 28/11/2019)

la matrice rocheuse⁷, dans les aquifères traversés (Berta et al. 2018 ; Lagmöller et al, 2019 ; Gombert et al, soumis), ou dans les aciers qui composent les cuvelages des puits ou les installations de surface, peuvent accentuer le risque de fuite.

L'activité microbiologique peut occasionner des mécanismes de corrosion et les aciers peuvent être fragilisés au contact de l'hydrogène (*embrittlement*) (San Marchi, 2007 ; Berrera et al., 2018 ; Greening et Boyd, 2020 ; Martin et al., 2020 ; etc.). Cependant, aux pressions considérées (de l'ordre de 100 à 200 bar), ce mécanisme peut être maîtrisé par le choix de matériaux adaptés.

Au-delà des caractéristiques de l'hydrogène, c'est aussi le mode d'exploitation envisagé pour les stockages d'hydrogène utilisé comme vecteur énergétique, avec des cycles plus rapides (de fréquence hebdomadaire voire journalière), qui accroissent certains risques. Dans le cas de cavités salines, par exemple, des changements de pression trop brusques peuvent conduire à la rupture de la paroi de la cavité sous l'effet de contraintes thermiques. Ce risque est particulièrement important au moment du refroidissement du gaz pendant la phase de soutirage.

Il est à noter également que le risque d'explosion est amplifié avec l'hydrogène, comparativement au gaz naturel, à cause du domaine d'explosivité dans l'air bien plus large pour l'hydrogène (4 à 75% vol.) et d'une énergie minimale d'inflammation très faible (17 µJ).

1.5 Perspectives du stockage souterrain d'hydrogène en Europe

Le projet européen HyUnder, subventionné par le 7^e Programme-cadre européen de Recherche et de Développement (FP7) de 2012 à 2014, a fourni la première évaluation à l'échelle européenne du potentiel de stockage souterrain d'hydrogène en cavités salines (*Figure 6a*). Il s'est intéressé à six pays cibles (France, Allemagne, Royaume-Uni, Espagne, Pays-Bas et Roumanie), en prenant notamment en compte les questions réglementaires. Les forces et faiblesses de chaque site potentiel varient d'une région et d'un pays à l'autre, la France se situant dans la moyenne. La *Figure 6b* montre que les sites de stockage envisageables en France sont principalement localisés dans le Grand-Est, en Rhône-Alpes, en région PACA, en Nouvelle-Aquitaine et en Occitanie.

En France, il existe au moins 3 sites sur lesquels des projets de démonstration ou d'exploitation de stockages d'hydrogène en cavité saline sont en cours : Etrez (projets STOPIIL-H2 et HYPSTER), Manosque (projet HyGreen) et Carresse-Cassaber dans le sud-ouest (projet Hygé).

Le projet STOPIIL-H2⁸ (2019-2020), porté par Storengy, est un projet de développement d'un pilote de stockage d'hydrogène en cavité saline sur le site de stockage d'Etrez (Ain). Soutenu par Géodénergies, ce projet regroupe un consortium constitué de Storengy, Armines, Ineris, BRGM, Air Liquide, Geostock et Brouard Consulting. Il vise à étudier la faisabilité d'essais d'étanchéité et de cycles rapides d'injection-soutirage dans une cavité remplie partiellement d'hydrogène afin d'analyser l'étanchéité du puits et le comportement du gaz et de la cavité en réponse à ces cycles.

Le projet HYPSTER⁹ (2021-2023), également porté par Storengy sur le même site d'Etrez, fait suite au projet STOPIIL-H2. Il s'agit de concevoir et mettre en œuvre les essais conçus dans le cadre de STOPIIL-H2, en y adjoignant la production d'hydrogène par un électrolyseur de 1 MW en vue d'un usage pour l'industrie et la mobilité. Ce projet regroupe Storengy, Armines, Ineris, Axelera, ElementEnergy et Inovyn. Il est financé par le partenariat européen public-privé FCH JU (Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking).

Le projet Hygé¹⁰, porté par Hydrogène de France (HDF), vise l'étude du stockage souterrain d'hydrogène obtenu par électrolyse de l'eau dans une ancienne cavité saline du site de Carresse-Cassaber (Pyrénées-Atlantiques). Il associe HDF et Teréga. Soutenu par le conseil régional de Nouvelle-Aquitaine, ce projet a démarré en 2020-2021 par la réalisation d'une étude de faisabilité afin de caractériser le site, de valider la capacité de la cavité à stocker de l'hydrogène et la pertinence

⁷ L'hydrogène est inerte vis-à-vis du sel mais peut, dans certaines conditions, réagir avec les espèces soufrées comme le gypse ou l'anhydrite.

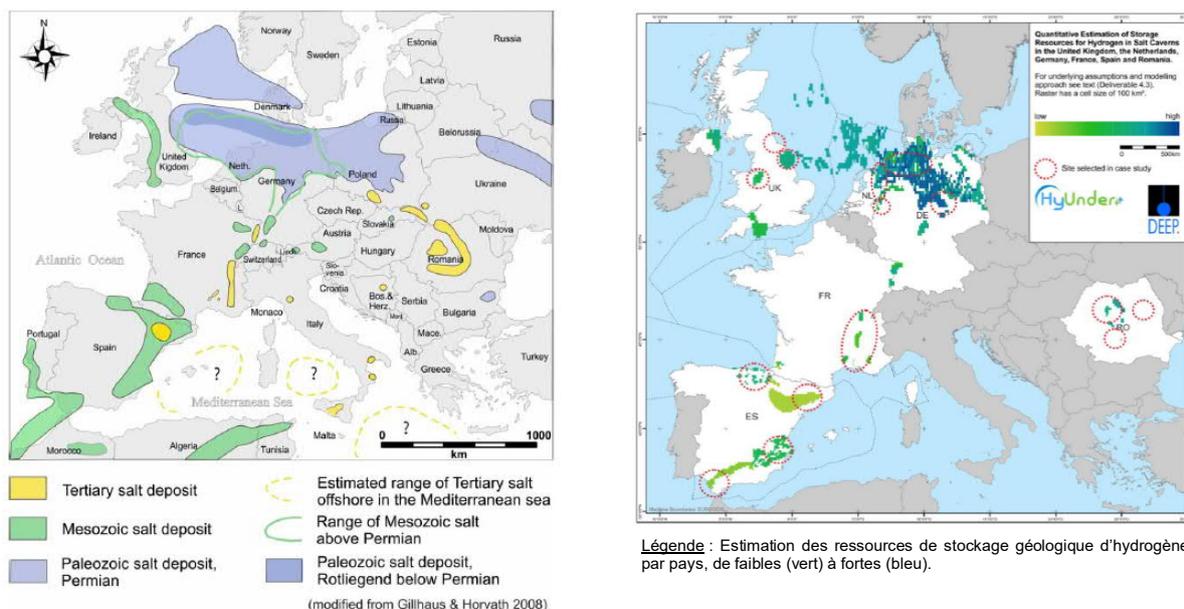
⁸ <https://www.storengy.com/fr/nos-metiers/gaz-renouvelables/nos-projets-recents>

⁹ <https://www.vighy-afhypac.org/projets/hypster/>

¹⁰ <https://www.actu-environnement.com/ae/news/terega-HDF-stockage-geologique-hydrogene-vert-projet-hygeo-35811.php4>

économique d'un tel stockage. Il doit être suivi en 2022 d'études d'ingénierie plus poussées et d'une construction en 2023.

Le projet HyGreen Provence¹¹, soutenu par la communauté d'agglomération Durance-Luberon-Verdon, est le premier projet français à vocation commerciale de cette envergure concernant la production et le stockage souterrain d'hydrogène renouvelable. Il repose sur la construction d'un système de production locale d'électricité renouvelable (photovoltaïque), valorisée sous forme d'hydrogène, lui-même potentiellement stocké en cavités salines sur un site exploité par Storengy à Manosque (Alpes-de-Haute-Provence). Le projet est porté par un consortium regroupant Géométhane, RTE, Enedis, GRTgaz, Storengy, Engie, Air Liquide et GRDF. Il vise la mise en production d'hydrogène vert à partir de 2023 (pour l'alimentation de bus) et une extension avec stockage en cavité saline à partir de 2024.



a) Principales formations salifères en Europe

b) Sites de stockage potentiel d'H₂ en Europe

Figure 6. Cartes des principales formations salines et des sites potentiels de stockage souterrain d'hydrogène en cavités salines en Europe (source : HyUnder project)

1.6 Plan du rapport

Ce rapport propose de dresser un état du cadre législatif et réglementaire existant, en France et en Allemagne, en abordant successivement les deux grandes parties d'un stockage souterrain, à savoir :

- les installations de surface (chapitre 2) ;
- les ouvrages souterrains (chapitre 3).

¹¹ https://www.capenergies.fr/portfolio_page/hygreen-provence/

2 Cadre réglementaire applicable aux installations de surface des stockages souterrains d'hydrogène ou de gaz analogues

2.1 Réglementation européenne applicable aux stockages superficiels d'hydrogène et transpositions en droit français

La réglementation européenne applicable aux installations de stockage superficiel d'hydrogène est également applicable aux installations de surface déployées au droit de stockages souterrains d'hydrogène. Dans le cadre de la réglementation européenne de l'utilisation de l'hydrogène, les directives suivantes s'appliquent :

- Directive N° 2012/18/UE (dite SEVESO 3) concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses ;
- Directive N° 2014/34/UE concernant les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles ;
- Directive N° 1999/92/CE concernant les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives ;
- Directive N° 2014/68/UE concernant la mise à disposition sur le marché des équipements sous pression.

La France a transposé la Directive N° 2012/18/UE (Seveso 3) par l'intermédiaire de la loi n°2013-619 du 16 juillet 2013 (articles 10 et 11), du décret n°2014-284 du 3 mars 2014 modifiant le titre I^{er} du livre V du code de l'environnement, et du décret n°2014-285 du 3 mars 2014 de modification de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) permettant de prendre en compte les seuils Seveso haut et bas de la directive. Dans ce contexte, la rubrique 4715 de la nomenclature des ICPE concerne l'hydrogène.

Les textes de transposition en droit français de la Directive N° 2014/34/UE ont été publiés. Il s'agit du Décret n°2015-799 du 1^{er} juillet 2015 relatif aux produits et équipements à risques, et de l'Arrêté du 1^{er} juillet 2015 relatif aux organismes habilités à réaliser les évaluations de la conformité et les opérations de suivi en service des produits et équipements à risques.

Les textes de transposition en droit français de la Directive N° 1999/92/CE ont également été publiés. Il s'agit des textes suivants :

- Décret n° 2002-1553 du 24 décembre 2002 relatif aux dispositions concernant la prévention des explosions applicables aux lieux de travail et modifiant le chapitre II du titre III du livre II du code du travail (2^e partie : Décrets en Conseil d'Etat) ;
- Décret n° 2002-1554 du 24 décembre 2002 relatif aux dispositions concernant la prévention des explosions que doivent observer les maîtres d'ouvrage lors de la construction des lieux de travail et modifiant le chapitre V du titre III du livre II du code du travail (2^e partie : Décrets en Conseil d'Etat) ;
- Arrêté du 8 juillet 2003 complétant l'arrêté du 4 novembre 1993 relatif à la signalisation de sécurité et de santé au travail ;
- Arrêté du 8 juillet 2003 relatif à la protection des travailleurs susceptibles d'être exposés à une atmosphère explosive.

Enfin, la directive n° 2014/68/UE a été transposée par le décret n° 2015-799 du 1^{er} juillet 2015 relatif aux produits et équipements à risques.

Notons que le projet européen HyLaw (voir en Annexe 1), qui avait pour objectif d'étudier les législations et réglementations concernant les piles à combustible et les applications de l'hydrogène, a fait un tour d'horizon des réglementations européennes applicables aux installations de production et de stockage d'hydrogène en surface, dont certaines peuvent être associées à des stockages souterrains d'hydrogène. Ce projet ne visait toutefois pas les stockages souterrains d'hydrogène.

2.2 Réglementation française

2.2.1 Electrolyseurs

Les technologies d'électrolyse de l'eau sont classées selon l'électrolyte employé pour séparer les deux demi-réactions, à savoir le dégagement d'hydrogène à la cathode et d'oxygène à l'anode. Les principales technologies mises en œuvre sont au nombre de trois : l'électrolyse alcaline, l'électrolyse à

membrane polymère et l'électrolyse à oxyde solide. Les réactions et le fonctionnement associés à ces trois types d'électrolyseurs sont plus largement détaillés dans l'étude comparative des réglementations, des guides et des normes concernant les électrolyseurs et le stockage d'hydrogène réalisée par l'INERIS en 2016 (Pique et al., 2016). Un électrolyseur peut également renfermer des équipements sous pression¹² qui sont soumis à une réglementation spécifique, laquelle est abordée au chapitre suivant concernant les compresseurs.

La production d'hydrogène en quantité industrielle à partir d'électrolyse est une activité soumise au régime de l'autorisation sans seuil – c'est-à-dire dès la première molécule produite et qui sera commercialisée – au titre de la rubrique 3420 de la nomenclature des ICPE : *fabrication en quantité industrielle par transformation chimique ou biologique de produits chimiques inorganiques*, l'hydrogène y étant nommément désigné. Le classement d'une activité sous une rubrique 3xxx de la nomenclature des ICPE signifie que cette activité relève également de la directive sur les émissions industrielles¹³ (IED).

2.2.2 Compresseur

Les appareils à pression sont régis par le code de l'environnement au Chapitre VII du Titre V du Livre V « Produits et équipements à risques ». Pour les équipements sous pression (ESP), les récipients à pression simples (RPS) et les équipements sous pression transportables (ESPt), il s'agit notamment des articles L.557-1 à L.557-61 pour la partie législative, R.557-9 à R.557-11 et R.557-14 pour la partie réglementaire de ce code. Les sections R.557-9 à R.557-11 sont relatives aux exigences de conception et de fabrication des ESP, RPS et ESPT. La section R.557-14 est relative au suivi en service notamment des EPS et RPS.

L'arrêté ministériel du 20 novembre 2017 relatif au suivi en service des équipements sous pression et des récipients à pression simples, entré en vigueur au 1^{er} janvier 2018 (qui abroge l'ancien arrêté ministériel du 15 mars 2000 modifié), définit les conditions de suivi en service des ESP et RPS. Il fixe les dispositions générales d'installation et d'exploitation des équipements sous pression et récipients à pression simples, les modalités de déclaration et de contrôle de mise en service ainsi que les conditions de réalisation de l'inspection et de la requalification périodique de ces équipements. Enfin, les assemblages permanents d'équipements sous pression doivent être réalisés conformément à la directive n°2014/68/UE du 15 mai 2014 concernant la mise sur le marché des ESP.

2.2.3 Installations mettant en œuvre de l'hydrogène

Toute installation mettant en œuvre de l'hydrogène est réglementée au titre de la législation des ICPE. L'hydrogène est une substance nommément visée par la rubrique 4715 de la nomenclature des ICPE (Tableau 2). L'activité de stockage ou d'emploi de solides inflammables (dans le cas où l'hydrogène est stocké au sein d'hydrures métalliques) est encadrée par la rubrique 1450 (voir plus loin).

Tableau 2. Rubrique ICPE 4715

Quantité susceptible d'être présente dans l'installation	Régime
Supérieure ou égale à 100 kg mais inférieure à 1 t	Déclaration
Supérieure ou égale à 1 t	Autorisation
Supérieure ou égale à 5 t	SEVESO seuil bas ¹⁴
Supérieure ou égale à 50 t	SEVESO seuil haut ¹⁵

¹² L'article R.557-9-1 du code de l'environnement dispose que les équipements sous pression sont des récipients, tuyauteries, accessoires de sécurité et accessoire sous pression (y compris, le cas échéant, les éléments attachés aux parties sous pression, tels que brides, piquages, raccords, supports et pattes de levage) dont la pression maximale admissible PS est supérieure à 0.5 bar (relatif).

¹³ Directive n° 2010/75/UE du 24/11/10 relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrées de la pollution) : https://aida.ineris.fr/consultation_document/639

¹⁴ Documents exigés pour les établissements relevant du seuil bas de la directive SEVESO III : documents exigés pour une ICPE soumise à autorisation (notamment étude de dangers et étude d'impact), complétés par un recensement périodique des substances dangereuses et une Politique de Prévention des Accidents Majeurs (PPAM).

¹⁵ Documents exigés pour les établissements relevant du seuil haut de la directive SEVESO III : documents exigés pour un établissement SEVESO seuil bas complétés par un Système de Gestion de la Sécurité (SGS), un Plan

A la rubrique 4715 est associé l'arrêté du 12 février 1998 relatif aux prescriptions générales applicables aux ICPE soumises à déclaration sous la rubrique n°4715 (Hydrogène) (installations où la quantité d'hydrogène stocké est supérieure ou égale à 100 kg mais inférieure à 1 tonne). Cet arrêté impose des règles d'implantation et d'aménagement, des dispositifs et équipements de sécurité, tels que des moyens de lutte contre l'incendie ou des détecteurs, et de surveillance des installations.

Dans le cas où l'hydrogène est stocké au sein d'hydrures métalliques et que ces derniers sont classés comme substances dangereuses selon le règlement n°1272/2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage dit « règlement CLP », la rubrique 1450 présentée dans le Tableau 3 s'applique également.

Tableau 3. Rubrique ICPE 1450 « Stockage ou emploi de solides inflammables »

Quantité susceptible d'être présente dans l'installation	Régime
Supérieure ou égale à 50 kg mais inférieure à 1 t	Déclaration
Supérieure ou égale à 1 t	Autorisation

A la rubrique 1450 est associé l'arrêté du 5 décembre 2016 relatif aux prescriptions applicables à certaines ICPE soumises à déclaration.

2.3 Réglementation allemande

2.3.1 Electrolyseurs

Comme en France, la réglementation de la production d'hydrogène en quantité industrielle par électrolyse est issue de la transposition de la directive européenne sur les émissions industrielles (IED). Cette transposition se retrouve dans l'arrêté du 4 BImSchV (Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes) § 4.1.12. En Allemagne les installations produisant de l'hydrogène, que ce soit ou non par électrolyse, sont soumises au régime de l'autorisation sans seuil, c'est-à-dire dès la première molécule d'hydrogène produite.

2.3.2 Compresseurs

Les compresseurs sont soumis aux dispositions de l'ordonnance sur la sécurité opérationnelle (BetrSichV) et ils appartiennent en grande partie aux équipements soumis à une surveillance au sens de cette ordonnance. L'exploitant d'un compresseur est donc responsable des mesures de sécurité nécessaires, de son maintien en état et de son bon fonctionnement. Il doit aussi déterminer et évaluer les dangers associés à l'utilisation du compresseur (évaluation des risques), sachant que les mesures nécessaires pour la fourniture et l'utilisation en toute sécurité du compresseur doivent être déterminées conformément à l'état de la technique. Ainsi, le compresseur ne doit pas être utilisé s'il présente des défauts mettant en danger les employés ou des tiers.

Les accidents entraînant des lésions corporelles doivent être signalées à l'autorité de surveillance. L'exploitant d'un compresseur doit déterminer l'étendue et les délais des tests requis qui peuvent être basés sur les recommandations des fabricants respectifs, mais doivent respecter les intervalles d'inspection maximaux définis dans le BetrSichV.

Les compresseurs sont classés selon la « Directive des équipements sous pression » (EC / 97/23). Cette classification dépend de leur volume et de la pression de service admissible. Elle donne en outre le type, la portée et le contenu des tests de pré-lancement et de contrôle.

Enfin, conformément à l'ordonnance allemande sur la sécurité industrielle (BetrSichV) 2015, paragraphes 15 et 16, les équipements sous pression à surveiller et leurs composants doivent être inspectés avant la mise en service, et sont soumis à un contrôle périodique par une inspection autorisée (ZÜS) ou par une personne habilitée à l'inspection. Ces dispositions sont similaires à celles imposées aux équipements sous pression en France.

d'Opération Interne (POI, qui est un plan d'urgence interne), un Plan Particulier d'Intervention (PPI, qui est un plan d'urgence externe), un réexamen périodique de l'étude de dangers, un dispositif de maîtrise du foncier dans les zones de dangers extérieures au site (PPRT, Servitudes d'Utilité Publique)

2.3.3 Installations mettant en œuvre de l'hydrogène

Selon la quatrième ordonnance d'application de la loi fédérale sur le contrôle des émissions (BlmSchV), le stockage d'hydrogène est soumis aux seuils mentionnés dans le *Tableau 4*.

Tableau 4. Rubrique applicable aux installations mettant en œuvre de l'hydrogène dans la législation allemande

Quantité d'hydrogène	Action
Stockage inférieure à 3 t	Activité réglementée par le BetrSichV. Un contrôle par un organisme notifié est obligatoire pour la mise en service et pour les contrôles périodiques.
Stockage supérieure ou égale à 3 t mais inférieure à 30 t	Activité réglementée par le 4. BlmSchG. Toutes les procédures sont regroupées et ont un seul contact du côté de l'administration (au lieu de procédures et de permis individuels). Par rapport au BetrSichV, cette procédure a également une portée accrue pour les réglementations de sécurité opérationnelle (par exemple, une considération supplémentaire de la protection contre le bruit et l'eau).
Stockage supérieure ou égale à 30 t	Activité réglementée aussi selon le 4. BlmSchG mais qui inclut en supplément une enquête publique. Une évaluation de l'impact sur l'environnement pourrait être requise si le projet en tant que tel peut avoir un impact négatif considérable sur l'environnement (évalué à la discrétion de l'autorité compétente en matière de réception à partir d'une évaluation préliminaire globale).
Présence globale sur site supérieure ou égale à 5 t mais inférieure à 50 t	Réglementation selon le Störfallverordnung, précisée dans le 12. BlmSchG. Correspond au Seveso 3 seuil bas.
Présence globale sur site supérieure ou égale à 50 t	Réglementation selon le Störfallverordnung, précisée dans le 12. BlmSchG. Correspond au Seveso 3 seuil haut.

Indépendamment de ces seuils, les réglementations suivantes s'appliquent pour tous les stockages stationnaires :

- Règlement de sécurité d'exploitation du 27/09/2002 ;
- Ordonnance Loi sur la sécurité des équipements et des produits (Ordonnance sur les équipements sous pression - 14. GPSGV) du 03/10/2002 ;
- BGR 104 Règles de protection contre les explosions, règles pour éviter les dangers des atmosphères explosives avec exemples (auparavant ZH 1/10) ;
- Règle technique sur les substances dangereuses 510 (TRGS) « Stockage de substances dangereuses dans des conteneurs mobiles » ;
- Règles techniques TRG 280 « Exploitation de réservoirs de gaz sous pression » (10/1995), TRG 610 « Installation d'appareils sous pression pour le stockage de gaz » (02/1997) ou TRB 700 « Exploitation d'appareils à pression » (10/1998).

3 Cadre réglementaire applicable à la partie souterraine des stockages souterrains d'hydrogène ou de gaz analogues

3.1 Etat des réflexions à l'échelle européenne

La Commission Européenne a établi plusieurs directives destinées à encourager la transition énergétique en Europe. On peut citer :

- la Directive 2009/28/CE sur les énergies renouvelables, qui fixe des objectifs ambitieux à tous les États membres, afin que l'Union Européenne atteigne 20% d'énergie renouvelable d'ici 2020 et 10% spécifiquement dans le secteur des transports ;
- la Directive européenne 2012/27/CE qui concerne l'efficacité énergétique ;
- le Pacte vert pour l'Europe (Com(2019) 640), qui affiche l'ambition d'une neutralité carbone en Europe d'ici à 2050 ;
- la stratégie européenne sur l'hydrogène (COM(2020) 301).

Cependant, peu de mesures concrètes ont été prises, à ce stade, pour faire progresser le concept de stockage massif de l'énergie, et son intégration dans la structure européenne d'approvisionnement énergétique. Ceci contraste avec le nécessaire développement du stockage de l'énergie, tel qu'envisagé dans les plans européens de politique énergétique.

Le projet de recherche européen HyLaw (2017-2018) a étudié les législations et réglementations concernant les piles à combustible et les applications de l'hydrogène, ainsi que les barrières légales à leur déploiement et à leur commercialisation. Cependant, il n'a pas abordé la filière du stockage souterrain.

De son côté, le projet HyUnder (2012-2014) avait pour objectif d'évaluer le potentiel de stockage souterrain d'électricité renouvelable sous forme d'hydrogène dans l'Union Européenne mais il n'avait pas vocation à aborder les réglementations de chaque État membre ni les freins au développement de la filière qu'elles peuvent éventuellement représenter.

Le projet HyPSTER (2021-2023), en revanche, a pour ambition de faire un état, à l'échelle européenne et au sein de plusieurs états-membres, du cadre réglementaire et normatif applicable à la sécurité du stockage souterrain en cavités salines, pour ce qui concerne la partie souterraine du stockage. Les résultats de ce projet seront disponibles en 2023.

A notre connaissance, il n'y a pas d'autre projet européen engagé sur le thème de la législation et de la réglementation du stockage souterrain de l'hydrogène.

3.2 Réglementation française

Même si des projets sont en cours (cf. § 1.5), aucun démonstrateur ou site industriel de stockage souterrain d'hydrogène n'a encore été mis en œuvre sur le territoire français et par conséquent, le cadre juridique s'appliquant à cette activité n'a pas encore été éprouvé.

Toutefois, l'ordonnance n°2021-167 du 17 février 2021 relative à l'hydrogène, élaborée en application de l'habilitation prévue par l'article 52 de la loi énergie-climat n° 2019-1147 du 8 novembre 2019, a introduit des dispositions importantes, à son article 6, pour encadrer le déploiement des stockages souterrains d'hydrogène. D'abord, elle a modifié l'article L. 211-2 du code minier pour y inclure les stockages souterrains d'hydrogène¹⁶. D'autre part, elle a introduit la possibilité, pour le titulaire d'une concession de stockage de gaz combustible ou de gaz naturel et sous certaines conditions, d'être dispensé de l'obligation d'obtenir un nouveau titre minier pour stocker de l'hydrogène.

La présentation qui suit intègre ces nouvelles dispositions.

¹⁶ Avant la publication de cette ordonnance, seul le stockage de l'hydrogène à usage industriel était couvert par le code minier en tant que « produit chimique à destination industrielle » (art L211-2).

3.2.1 Législation applicable aux stockages souterrains visés au livre II du code minier en matière de titre minier (permis exclusif de recherche et concession d'exploitation)

Les stockages souterrains de gaz naturel, d'hydrocarbures liquides, liquéfiés ou gazeux ou de produits chimiques à destination industrielle (y compris l'hydrogène à usage industriel), ont été intégrés au code minier en 2003 et sont, depuis 2011, régis par le livre II du code minier (article L 211-1 et suivants). Depuis la publication de l'ordonnance du 17 février 2021, le stockage souterrain de l'hydrogène à usage énergétique est également régi par ce livre II. À ce titre, les cavités ou formations souterraines destinées au stockage souterrain de l'hydrogène sont considérées comme des gisements miniers et le droit de rechercher puis d'exploiter un stockage souterrain d'hydrogène nécessite l'octroi d'un titre minier (respectivement un permis exclusif de recherche et une concession d'exploitation), délivrés selon les dispositions prévues aux titres II à IV du livre II du code minier, ainsi qu'à celles du décret 2006-648 du 2 juin 2016 relatif aux titres miniers et aux titres de stockage souterrain.

Toutefois, l'article 6, alinéa 2, de l'ordonnance du 17 février 2021 dispose que « le titulaire d'une concession de stockage de gaz combustible ou de gaz naturel est dispensé de l'obligation d'obtenir un nouveau titre minier pour stocker de l'hydrogène, lorsque les formations géologiques dans lesquelles le stockage d'hydrogène est envisagé sont incluses dans le ou les périmètres couverts par le titre dont il dispose déjà ».

3.2.2 Législation applicable aux stockages souterrains d'hydrogène en matière d'autorisation et éventuelles interactions entre la législation minière et celle des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)

Après délivrance éventuelle du titre minier de stockage souterrain d'hydrogène (ou dans le cadre de sa concession existante s'il est en dispensé au titre de l'article 6-2° de l'ordonnance du 17 février 2021), le porteur de projet doit obtenir une autorisation pour la mise en œuvre de travaux de stockage souterrain, quel que soit leur type, dans le cadre de l'article L 262-1 du code minier : travaux de recherches, de création, d'essais, d'aménagement ou d'exploitation de stockage souterrain.

Trois cas de figure peuvent alors se présenter :

- Premier cas : des travaux d'exploration sont envisagés sur un site nouveau et mettent en œuvre une quantité d'hydrogène inférieure au seuil de classement ICPE au titre de la rubrique 4715 (100 kg). Typiquement, il s'agit de travaux de forage, de création, d'aménagement de cavités et éventuellement, d'essais mobilisant des quantités d'hydrogène inférieures à 100 kg ;
- Deuxième cas : des travaux d'exploration sont envisagés sur un site nouveau et mettent en œuvre une quantité d'hydrogène supérieure au seuil de classement ICPE au titre de la rubrique 4715 (100 kg) ou sont envisagés au sein d'un stockage souterrain existant relevant de la réglementation ICPE ;
- Troisième cas : les travaux envisagés sont des travaux d'exploitation (mobilisant des quantités d'hydrogène supérieures à 5 tonnes) de stockage souterrain : premier remplissage de la cavité puis opérations d'injection/soutirage, maintenance et surveillance des installations.

Concernant le premier cas, les travaux sont encadrés par le code minier et doivent respecter les dispositions réglementaires suivantes relatives aux « travaux miniers » :

- titre VI du livre II du code minier,
- décret n°2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains,
- décret n°2016-1303 du 4 octobre 2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substances minières, dit décret « forage »
- arrêté ministériel du 14 octobre 2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substances minières, dit arrêté « forage ».

Concernant le décret « forage » et l'arrêté « forage », ces textes ne seront applicables qu'après modification de leur article 2 afin de mettre en cohérence le champ d'application de ces textes avec la modification de l'article L. 211-2 du code minier.

Concernant le deuxième cas :

- Si les travaux sont entrepris sur un site nouveau, les travaux relèvent, selon leur nature, du régime de déclaration ou de l'autorisation au titre de la réglementation ICPE :
 - si la quantité d'hydrogène est comprise entre 100 kg et 1 tonne : régime de la déclaration ;
 - si la quantité d'hydrogène dépasse 1 tonne : régime de l'autorisation avec un seuil SEVESO bas de 5 tonnes et un seuil SEVESO haut de 50 tonnes.
- Si les travaux sont réalisés au sein d'un stockage souterrain existant (par exemple de gaz naturel), relevant déjà de la réglementation ICPE, ils doivent être instruits comme une modification d'une ICPE existante. Dans ce cas, la nature des modifications apportées ainsi qu'une présentation des enjeux, risques et inconvénients associés doivent être portées à la connaissance du Préfet. Ce dernier juge alors du caractère substantiel (ou non) de ces modifications, selon les critères fixés à l'article R.181-46 du code de l'environnement. En fonction de sa décision il statue sur les suites administratives à donner : mise à jour des prescriptions applicables au site par arrêté préfectoral complémentaire (dans le cas où les modifications sont jugées non substantielles) ou nouvelle demande d'autorisation environnementale (dans le cas contraire).

Concernant le troisième cas, en application des dispositions de la directive 2012/18/UE du 4 juillet 2012, dite « directive Seveso III », l'exploitation d'un stockage d'hydrogène relève de la législation des ICPE au titre de la rubrique 4715 et est donc régie par le code de l'environnement (Livre V – Titre 1er).

Au vu des quantités présentes dans les futurs stockages souterrains d'hydrogène, le stockage devrait systématiquement relever du régime d'autorisation SEVESO seuil haut.

Toute modification apportée au stockage (création d'une nouvelle cavité, forage d'un nouveau puits, etc.), ainsi que sa mise à l'arrêt définitif, sont encadrées au titre des ICPE et non du code minier.

La Figure 7 présente une synthèse des procédures administratives applicables à un projet de stockage souterrain d'hydrogène en France.

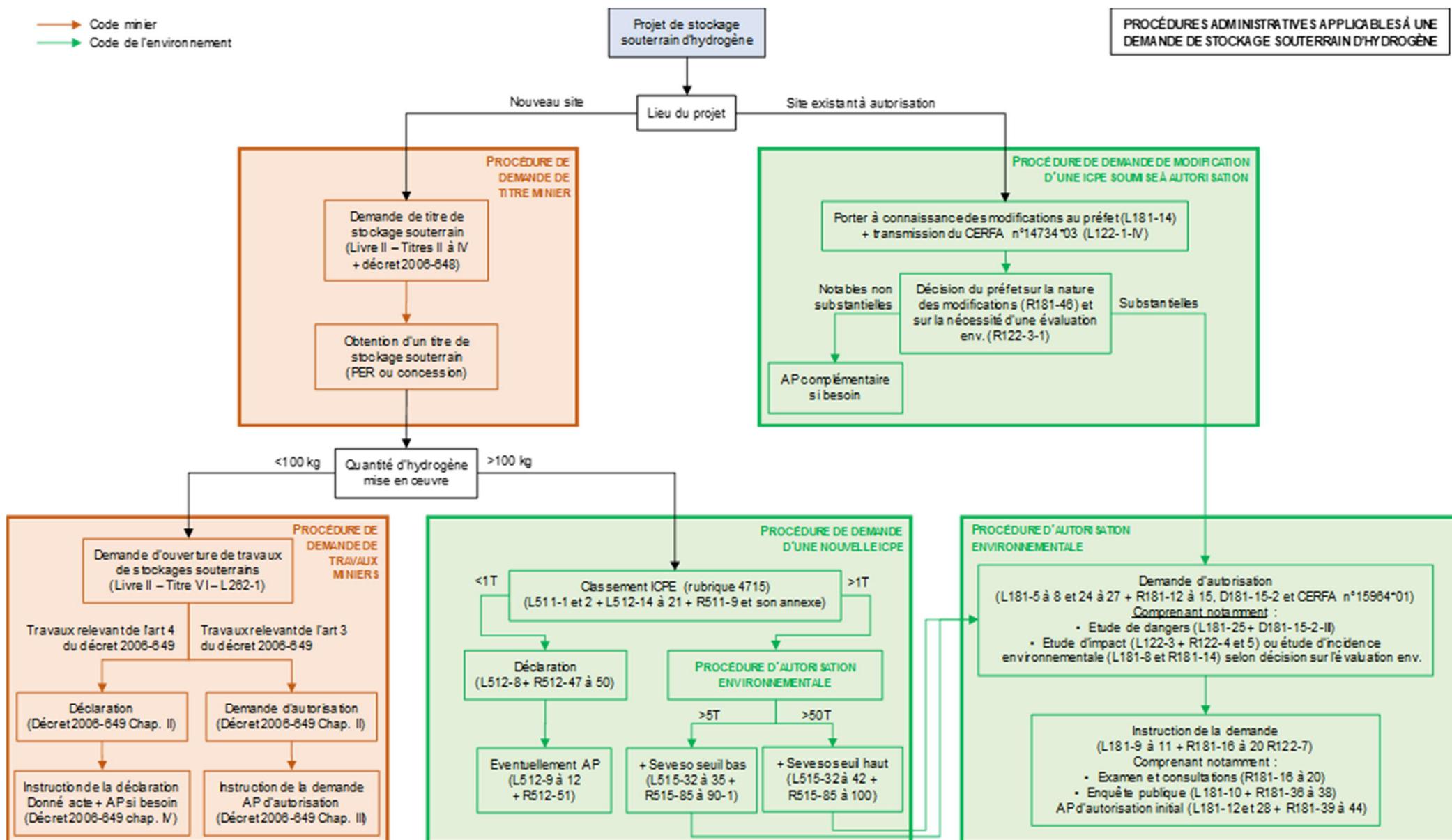


Figure 7. Procédures administratives applicables à une demande de stockage souterrain d'hydrogène

3.3 Réglementation sur les stockages souterrains de gaz en Allemagne.

Contrairement à la France où l'article L 211-2 du code minier liste les « produits autorisés dans un stockage souterrain », il n'existe pas en Allemagne de telle liste limitative. Chaque nouveau produit destiné à être stocké doit préalablement faire l'objet d'une évaluation de son impact sur l'environnement. Par la suite, la législation qui s'applique à chaque nouveau produit est la même que celle qui s'applique actuellement au stockage souterrain de gaz naturel.

C'est la raison pour laquelle l'Allemagne a pu réaliser, sans modification législative, un stockage industriel d'hélium à Epe (Rhénanie-du-Nord). Réalisé en septembre 2016, il s'agit du premier site commercial au monde de stockage souterrain d'hélium pur, au sein d'une cavité saline¹⁷. Cette cavité est située à 1300 m de profondeur.

Nous passons ci-après en revue les principaux textes qui régissent les stockages souterrains de gaz naturel en Allemagne, et qui sont également applicables à un futur stockage d'hydrogène.

3.3.1 La loi fédérale sur les mines du 13 août 1980 - Bundesberggesetz (BBergG)

La loi fédérale sur les mines du 13 août 1980 - Bundesberggesetz (BBergG)¹⁸ couvre le droit minier et son paragraphe 126 est dédié au stockage souterrain. Dans divers chapitres (39, 40, 48, 50 bis, 74, 77 bis 104, 106 et 131), ce paragraphe précise les conditions nécessaires pour déterminer l'aptitude d'un site de stockage souterrain.

Conformément à l'article 51, paragraphe 1, chapitre 126 Abs. du BBergG, l'autorisation de mise en place et d'exploitation d'un stockage souterrain est réalisée sur la base des plans opérationnels établis et mis à jour par l'exploitant, puis approuvés par l'autorité compétente. Le chapitre 52 du BBergG précise qu'il s'agit des plans d'exploitation principaux, des plans d'exploitation spéciaux et des plans opérationnels cadres :

- les plans d'exploitation principaux sont nécessaires pour l'instauration et l'exploitation d'un stockage souterrain ; d'une durée de validité généralement limitée à deux ans, ils précisent les différentes opérations prévues par l'exploitant et, en cas de réaménagement, l'ensemble des nouveaux travaux et des nouvelles installations prévues ;
- les plans d'exploitation spéciaux peuvent être exigés par l'autorité compétente pour certaines parties du projet ; ils traitent d'ouvrages spéciaux et d'installations situées hors du plan d'exploitation principal mais qui ne peuvent pas y être inclus car les opérations nécessaires dépassent la durée limite de deux ans précédemment fixée ;
- les plans opérationnels cadres présentent l'ensemble des installations afin d'établir un cadre pour les futurs aménagements en vue de leur approbation par des plans d'exploitation principaux et spéciaux ; ils donnent à l'administration un aperçu du projet dans son ensemble, afin d'évaluer des sources de conflits potentiels en lien avec la sécurité publique, l'ordre public et l'environnement ; ils permettent à l'exploitant d'obtenir une approbation de principe pour l'exécution de son projet minier et ce, dans un cadre défini (l'exécution des travaux nécessitant l'approbation des plans d'exploitation principaux et spéciaux).

Selon le chapitre 55 du BBergG, l'approbation d'un plan d'exploitation est accordée par l'administration si la douzaine de points suivants est vérifiée et que l'exploitation ne va pas à l'encontre de l'intérêt public :

1. que l'extraction des ressources minérales prévue dans le plan soit autorisée ;
2. que l'exploitant dispose de l'expertise et de la fiabilité nécessaires pour réaliser l'exploitation ;
3. que toutes les précautions nécessaires soient prises contre les atteintes à la vie, à la santé et à la protection de la propriété, tant en ce qui concerne les employés que les tiers (et en particulier que la réglementation concernant les règles de santé et de sécurité soit respectée) ;
4. que les ressources minérales dont la protection est dans l'intérêt public ne subissent aucun dommage ;

17 <https://fr.media.airliquide.com/actualites/premiere-mondiale-air-liquide-met-en-service-le-premier-site-de-stockage-dhelium-pur-f2ed-1ba6d.html>

18 <http://www.gesetze-im-internet.de/bbergg/>

5. que la protection de la surface dans l'intérêt de la sécurité publique et des transports soit assurée ;
6. que les déchets résultants de l'exploitation soient correctement utilisés ou éliminés ;
7. que les précautions nécessaires à la réutilisation de la surface après la phase d'exploitation soient prévues ;
8. que des installations de stockage ou d'exploitation de minéraux déjà existantes ne soient pas mises en danger par la nouvelle installation ;
9. qu'il ne soit pas prévu d'effets nocifs des phases d'exploration ou d'extraction.

En outre, en cas d'exploitation d'une installation en domaine littoral ou côtier, il faut que celle-ci :

10. n'affecte pas l'exploitation et le fonctionnement des installations maritimes ;
11. n'affecte pas l'utilisation des couloirs de navigation, de l'espace aérien, de la pêche, ou bien qu'elle ne soit pas inappropriée au maintien de la vie végétale et animale ;
12. n'affecte pas la pose, la maintenance et l'exploitation de câbles et de pipelines sous-marins, ainsi que la recherche océanographique ou autre recherche scientifique ;
13. limite le plus possible les effets dommageables sur la mer.

On notera que les points 1 et 2 ne s'appliquent pas aux plans opérationnels cadres, lesquels ne servent qu'à donner à l'administration un aperçu du projet dans son ensemble (dans l'attente de son approbation par des plans d'exploitation principaux et spéciaux).

L'autorisation de fermeture d'une exploitation requiert en outre un plan de fermeture qui s'appuie sur les points 2 à 13, avec l'exigence supplémentaire que soient assurés :

- la protection des tiers contre les dangers sur la vie et la santé causés par les activités de l'exploitant, même après leur cessation ;
- le rétablissement de la surface concernée par l'exploitation ;
- en domaine littoral ou côtier, l'enlèvement complet des installations opérationnelles sur les fonds marins.

3.3.2 Arrêté sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement des projets miniers (UVP-V Bergbau) et notamment des stockages souterrains

L'arrêté UVP-V Bergbau précise la portée de l'évaluation de l'impact sur l'environnement des produits stockés, ainsi que son cadre d'applicabilité.

Le contenu de l'évaluation de l'impact sur l'environnement est précisé dans le paragraphe 16 de la loi sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement « Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) ». L'exploitant doit soumettre à l'autorité compétente un rapport sur l'impact probable du projet sur l'environnement, contenant au moins les informations suivantes :

- une description du projet, y compris son emplacement, sa nature, son étendue, son organisation, sa taille ainsi que d'autres caractéristiques essentielles ;
- une description de l'environnement et de ses composants dans le cadre du projet ;
- une description des caractéristiques du projet et du site visant à exclure, à réduire ou à compenser la survenue d'éventuels effets environnementaux négatifs importants du projet ;
- une description des mesures envisagées pour éliminer ou atténuer l'incidence de tels impacts environnementaux négatifs importants du projet, et une description des mesures de remplacement prévues ;
- une description de l'impact environnemental significatif attendu du projet ;
- une description des solutions de remplacement raisonnables en rapport avec le projet et ses caractéristiques spécifiques, examinées par le promoteur du projet, ainsi que les raisons du choix fait en tenant compte de leurs incidences respectives sur l'environnement ;
- un résumé général non technique du rapport.

Sur le plan de l'applicabilité, sont soumis à l'UCP-V Bergbau, les stockages pétroliers, pétrochimiques ou chimiques d'une capacité de :

- 200 000 tonnes ou plus ;
- 50 000 tonnes à 200 000 tonnes sur la base d'un examen préliminaire général au cas par cas ;
- 10 000 tonnes à 50 000 tonnes sur la base d'un examen préliminaire spécifique sur site au cas par cas.

Concernant le stockage du gaz naturel, le seuil est fixé à 100 millions de m³.

4 Conclusion

Le présent rapport a dressé un état de la législation française applicable aux stockages souterrains d'hydrogène. Il a abordé successivement la législation applicable aux installations de surface, puis celle qui concerne la partie souterraine d'un stockage souterrain d'hydrogène. Un éclairage à partir de la législation allemande relative au stockage de gaz a également été apporté.

Il ressort de cet état des lieux que, tant en France qu'en Allemagne, les installations de surface nécessaires pour opérer un stockage souterrain d'hydrogène (électrolyseurs, compresseurs, stockages tampon, etc.) sont déjà encadrées par la réglementation existante. En France, il s'agit principalement du code de l'environnement et notamment des rubriques 3420 pour les électrolyseurs, de la réglementation applicable aux appareils sous pressions pour les compresseurs, et de la rubrique 4715 de la nomenclature des ICPE pour les éventuels stockages tampons en surface.

En ce qui concerne la législation liée à la partie souterraine d'un stockage d'hydrogène, l'ordonnance n°2021-167 du 17 février 2021 relative à l'hydrogène, élaborée en application de l'habilitation prévue par l'article 52 de la loi énergie-climat n° 2019-1147 du 8 novembre 2019, a introduit des dispositions importantes, à son article 6, pour encadrer le déploiement des stockages souterrains d'hydrogène. D'abord, elle a modifié l'article L. 211-2 du code minier pour y inclure les stockages souterrains d'hydrogène. D'autre part, elle a introduit la possibilité, pour le titulaire d'une concession de stockage de gaz combustible ou de gaz naturel et sous certaines conditions, d'être dispensé de l'obligation d'obtenir un nouveau titre minier pour stocker de l'hydrogène.

Les procédures administratives encadrant les demandes de travaux dépendront de la nature des travaux et du fait que ceux-ci sont envisagés sur un site nouveau ou dans le cadre d'une concession existante. Lorsque la quantité mise en œuvre sera inférieure au seuil de classement ICPE, la demande sera instruite au titre du code minier mais dès que le seuil de classement ICPE de la rubrique 4715 (100 kg) sera atteint, ou lorsque les travaux seront entrepris au sein d'un stockage souterrain existant déjà soumis à la réglementation ICPE, ceux-ci seront instruits au titre du code de l'environnement.

Les premiers démonstrateurs ou applications commerciales de stockage souterrain d'hydrogène en France devraient être réalisés au sein de stockages souterrains existants, déjà autorisés au titre de la réglementation ICPE Seveso seuil haut. Leur demande d'autorisation devrait donc être instruite comme une modification d'ICPE existante, conformément aux dispositions de l'article R.181-46 du code de l'environnement.

5 Références

- ANCRE, 2019. Quel potentiel du sous-sol dans le stockage d'énergie dans le cadre de la loi de transition énergétique ? Rapport du Consortium de valorisation Thématique de l'Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Energie (en cours de publication).
- Bader AG, 2015. Le stockage géologique d'énergie sous forme d'hydrogène. Journée hydrogène naturel, SGF, Paris, 30/0/2015, <https://www.geosoc.fr/liens-docman/conferences/2015/hydrogene-naturel/1082-stockage-geologique-de-l-hydrogene-potentiel-et-enjeux/file.html> (consulté le 27/04/2020).
- Barrera O, Bombac D, Chen Y, Daff YD, Galindo-Nava E, Gong P, Haley D, Horton R, Katzarov I, Kermodé JR, Liverani C, Stopher M, Sweeney F, 2018. Understanding and mitigating hydrogen embrittlement of steels: a review of experimental, modelling and design progress from atomistic to continuum. *J Mater Sci* 53, 6251–6290 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10853-017-1978-5>
- Bauer S et al., 2017. Underground Sun Storage: Final Report Public 13. January 2020, https://www.underground-sun-storage.at/fileadmin/bilder/03_NEU_SUNSTORAGE/Downloads/Underground_Sun.Storage_Publizier_barer_Endbericht_English.pdf (consulté le 27/04/2020).
- Berta, M., Dethlefsen, F., Ebert, M., Schäfer, D., Dahmke, A. Geochemical Effects of Millimolar Hydrogen Concentrations in Groundwater: An Experimental Study in the Context of Subsurface Hydrogen Storage. *Environ. Sci. Technol.*, 2018, 52: 4937–4949.
- Bérest P, 2018. Stockage souterrain des gaz et hydrocarbures : des perspectives pour la transition énergétique. <https://www.encyclopedie-environnement.org/sol/stockage-souterrain-gaz-hydrocarbures-transition-energetique/> (consulté le 28/11/2019).
- BGS, 2008. Underground storage. Mineral Planning Factsheet, 22 p., <https://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=1370> (consulté le 23/03/2020).
- Caglayan DG, Weber N, Heinrichs HU, Linßen J, Robinius M, Kukla PA, Stolten D, 2020. Technical potential of salt caverns for hydrogen storage in Europe. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45/11, 28 February 2020 : 6793-6805, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.161>
- Cunha L, 2018. Voyage d'étude – Littoral du centre du Portugal : Serra da Boa Viagem – Nazaré. V^{ème} Colloque de l'AFGP. Livret guide. Coimbra, 22 septembre 2018. https://www.researchgate.net/publication/328006409_Voyage_d%27etude_-_Littoral_du_centre_du_Portugal_Serra_da_Boa_Viagem_-_Nazare/figures?lo=1 (consulté le 28/11/2019).
- Djizanne, H. & Lahaie, F. 2020. Analyse du cadre réglementaire des essais à l'hydrogène prévus dans la cavité EZ53 du site d'Étrez, rapport Ineris-178376-2224229.
- Durville JL, Gazeau JC, Nataf JM, Cueugnet J, Legait B, 2015. Filière hydrogène-énergie. <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-26748-rapport-cgedd-cgeiet-hydrogene.pdf> (consulté le 03/11/2020).
- Floristean A, Brahy N, 2019. EU regulations and directives which impact the deployment of FCH technologies. Deliverable 4.4. HyLaw, february 2019, 34 p., https://www.hylaw.eu/sites/default/files/2019-02/D4.4%20-%20EU%20regulations%20and%20directives%20which%20impact%20the%20deployment%20of%20FCH%20technologies_0.pdf (consulté le 04/12/2019).
- Géologues, 2018. Les stockages souterrains. *Revue Géologues*, n°196, mars 2018, 116 p.
- Ghoreychi M, 2015. Transition énergétique - Stockage souterrain de l'hydrogène. Note technique INERIS-DRS-15-10182-03229B, 30 mars 2015, 11 p., <https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/stockage-souterrain-hydrog%C3%A8ne-1468824082.pdf> (consulté le 28/11/2019).
- Gombert P, Lafortune S, Pokryszka Z, Lacroix E, de Donato P, Jozja N (2021). Monitoring scheme for the detection of hydrogen leakage from a deep underground storage. Part 2: Chemico-physical impacts of hydrogen injection into a shallow chalky aquifer. Soumis à Applied Sciences.

Gouvernement Français, 2020. Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France. Dossier de presse, 8 septembre 2020, https://minefi.hosting.augure.com/Augure_Minefi/r/ContenuEnLigne/Download?id=5C30E7B2-2092-4339-8B92-FE24984E8E42&filename=DP%20-%20Strat%C3%A9gie%20nationale%20pour%20le%20d%C3%A9veloppement%20de%20l%27hydrog%C3%A8ne%20d%C3%A9carbon%C3%A9%20en%20France.pdf (consulté le 21/01/2021)

Greening C, Boyd E, 2020. Microbial Hydrogen Metabolism. *Front. Microbiol.*, 30 January 2020, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00056>

Hagemann B, Panfilov M, Ganzer L, 2016. Multicomponent gas rising through water with dissolution in stratified porous reservoirs - Application to underground storage of H₂ and CO₂. *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 31 (2016) 198-213.

HyUnder, 2014. Assessment of the Potential, the Actors and Relevant Business Cases for Large Scale and Long Term Storage of Renewable Electricity by Hydrogen Underground Storage in Europe. Executive summary, 23 June 2014, 18 p., http://hyunder.eu/wp-content/uploads/2016/01/D8.1_HyUnder-Executive-Summary.pdf (consulté le 04/12/2019).

Ineris, 2016. Le stockage souterrain dans le contexte de la transition énergétique. Maîtrise des risques et impacts. Ineris références, septembre 2016, 40 p., www.ineris.fr

Laban MP, 2020. Hydrogen storage in salt caverns. Chemical modelling and analysis of large-scale hydrogen storage in underground salt caverns. Thesis, Delft University of Technology, 17 Jul. 2020.

Lagmöller, L., Dahmke, A., Ebert, M., Metzgen, A., Schäfer, D., Dethlefsen, F. Geochemical effects of hydrogen intrusions into shallow groundwater – an incidence scenario from Underground Gas Storage. *Groundwater Quality 2019, Liège (B)*, 2019, www.uee.uliege.be/cms/c_4476800/fr/presentations-et-posters-gq2019 (consulté le 7 décembre 2020).

Lahaie, 2015. Note relative au cadre législatif et réglementaire des stockages souterrains. Note technique Ineris DRS-15-149645-12442A, 24 décembre 2015, 5 p.

Landing H, Bünger U, Raksha T, Weindorf W, Simón J, Correias L, Crotogino F, 2014. Update of Benchmarking of large scale hydrogen underground storage with competing options. HyUnder Project, Deliverable No. 2.2, Final report, June 2014, 74 p. , http://hyunder.eu/wp-content/uploads/2016/01/D2.2_Benchmarking-of-large-scale-seasonal-hydrogen-underground-storage-with-competing-options_final.pdf (consulté le 29/11/2019)

Le Penec E, Rondeau A, 201 Les Equipements Sous Pression (ESP). Réunion d'information : UIC Ouest Atlantique, Rennes, 24/05/2018, 92 p., http://www.bretagne.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/presentation_uic_oa_24.05.2018-2.pdf (consulté le 10/12/2019).

Le Roy C, 2020. Le power-to-gas, une solution d'avenir. <https://www.lemondedelenergie.com/power-to-gas-solution-avenir/2020/03/23/> (consulté le 03/11/2020)

Martin ML, Connolly MJ, DeRio FW, Slifka AJ, 2020. Hydrogen embrittlement in ferritic steels featured *Applied Physics Reviews* 7, 041301 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0012851>

MTES, 2018. Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique, <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-31396-plan-hydrogene-ministere-transition-energetique.pdf>

Pérez A, Pérez E, Dupraz S, Bolcich J, 2016. Patagonia Wind - Hydrogen Project: Underground Storage and Methanation. 21st World Hydrogen Energy Conference 2016, Zaragoza, Spain, 13-16 June 2016, <http://www.hychico.com.ar/downloads/hychico-abstract-WHEC-2016.pdf> (consulté le 27/04/2020)

Pfeiffer WT, Bauer S, 2015. Subsurface porous media hydrogen storage - scenario development and simulation. *Energy Procedia* 76 (2015) 565-572.

Pique S, Weinberger B, De Dianous V, 2016. Etude comparative des réglementations, guides et normes concernant les électrolyseurs et le stockage d'hydrogène. Rapport INERIS-DRA-15-149420-06399C, <https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/dra-71-benchmark-sur-les-electrolyseurs-et-stockage-hydrogene-vf-1469010848.pdf> (consulté le 28/11/2019).

planete-energies, 2014. Les multiples utilisations de l'hydrogène. <https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/les-multiples-utilisations-de-l-hydrogene> (consulté le 12/03/2020).

Poncin JL, 2019. Les lander du nord de l'Allemagne s'allient pour soutenir le développement de l'hydrogène. <https://www.h2-mobile.fr/actus/langer-nord-allemande-allient-soutenir-developpement-hydrogene/> (consulté le 12/12/2019).

San Marchi C, Somerday BP, 2007. Effects of High-Pressure Gaseous Hydrogen on Structural Metals. SAE Transactions 116 (2007): 94-109.

Sainz-Garcia A, Abarca E, Rubi V, Grandia F, 2017. Assessment of feasible strategies for seasonal underground hydrogen storage in a saline aquifer. International Journal of Hydrogen Energy, 42/ 26, 29 June 2017 : 16657-16666, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.05.076>

SSAB, 2019. HYBRIT: SEK 200 million invested in pilot plant for storage of fossil-free hydrogen in Luleå. Press Release, October 3 2019, <https://mb.cision.com/Main/980/2924355/1117757.pdf> (consulté le 27/04/2020).

Sørensen B, 2007. Geological hydrogen storage. In : World Hydrogen Technologies Convention 2007, https://rucforsk.ruc.dk/ws/portalfiles/portal/3503367/Geological_hydrogen_storage.pdf (consulté le 27/04/2020).

Werquin C, Junker M, 2018. Position paper on the national strategy to create a regulatory framework for hydrogen and its applications – France. Hy Deliverable 3.5 – National Policy Paper Law. https://www.hylaw.eu/sites/default/files/2018-12/HyLaw_National%20Policy%20Paper_France%20%28EN%29%20v3.pdf (consulté le 12/03/2020).

6 Annexes

Liste des annexes :

- Annexe 1 : Principaux résultats du projet HyLaw

Annexe 1. Principaux résultats du projet HyLaw

Le projet de recherche européen HyLaw (Hydrogen Law), coordonné par Hydrogen Europe, s'est déroulé de janvier 2017 à décembre 2018 (<https://www.hylaw.eu/>). Il avait comme objectif d'étudier les législations et réglementations concernant les piles à combustible et les applications de l'hydrogène, ainsi que les barrières légales à leur déploiement et à leur commercialisation. Il a regroupé 23 partenaires issus de 18 pays de l'Union Européenne et de 5 pays associés : Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Danemark, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Italie, Lettonie, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni et Suède.

Ce projet a permis de constituer une base de données structurée en neuf catégories : production d'hydrogène, stockage stationnaire, transport et distribution, carburant pour la mobilité, véhicules, électrolyseurs, réseaux de gaz, piles à combustible. Dans chaque catégorie, ont été étudiées un certain nombre d'applications pertinentes de l'hydrogène, ainsi que les processus juridiques et administratifs associés.

Les plans pour la mobilité et les énergies propres de la Commission Européenne engagent l'Union Européenne à travailler sur des systèmes d'énergie et de transport totalement décarbonés, dans lesquels l'hydrogène aura un rôle essentiel à jouer. Néanmoins, il demeure un certain nombre d'obstacles et de lacunes législatives et politiques au déploiement de cette technologie. Ainsi :

- les processus de construction et d'exploitation de stations de ravitaillement en hydrogène sont actuellement longs, ce qui augmente les coûts et freine la pénétration sur le marché de l'hydrogène en tant que vecteur d'énergie ;
- dans le secteur du gaz, le cadre politique existant a été conçu autour du gaz naturel et d'importantes barrières et lacunes réglementaires systémiques entravent encore le potentiel de développement de l'hydrogène ; il s'agit notamment ici de décarboner les réseaux de gaz de l'Union Européenne en y injectant une certaine quantité d'hydrogène et/ou de méthane obtenu par méthanation à partir d'hydrogène;
- d'autres parties de la chaîne de l'hydrogène, telles que la production, le stockage, la distribution et d'autres utilisations (comme le chauffage et la production d'énergie) continuent de faire face à des obstacles réglementaires et administratifs.

Les recherches menées dans le cadre du projet HyLaw ont permis de recenser les actes législatifs et les processus administratifs qui empêchent ou limitent le déploiement de l'hydrogène et des produits à base d'hydrogène au sein de l'Union Européenne. Le projet a proposé des recommandations sur la manière de surmonter ces obstacles, dans l'espoir que des actions ciblées seront entreprises au niveau européen afin de libérer tout le potentiel de la technologie hydrogène pour la réalisation des objectifs de l'Union Européenne concernant le climat, l'environnement, l'énergie et la mobilité (Floristean & Brahy, 2019). En revanche, il n'a pas abordé la filière du stockage souterrain.

