



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 204518 - 2724422 - v1.0

19/01/2022

## **Gouvernance des risques dans les territoires dans le contexte de la Transition Energétique**

### **Le vecteur hydrogène**

### **Rapport**

## **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 : NOUAILLES-MAYEUR Anais

Vérification : WEINBERGER BENNO; MOULIN LUDOVIC; SARRIQUET AURORE

Approbation : Document approuvé le 19/01/2022 par BAROUDI HAFID

Liste des personnes ayant participé à l'étude :

## Table des matières

1	Introduction.....	5
2	Contexte.....	6
2.1	Le vecteur Hydrogène.....	6
2.1.1	La chaîne de valeur de l'hydrogène.....	6
2.1.2	La « couleur » de l'hydrogène.....	7
2.2	L'hydrogène comme vecteur clé de la transition énergétique.....	8
2.2.1	La transition écologique et la transition énergétique.....	8
2.2.2	Le rôle de l'hydrogène dans la transition énergétique.....	9
2.2.3	L'usage historique de l'hydrogène.....	10
2.2.4	Les nouveaux usages de l'hydrogène.....	10
2.2.5	La décarbonation du mix énergétique intégrant l'hydrogène.....	11
2.3	Le déploiement de l'hydrogène en France.....	12
2.4	Les enjeux de sécurité associés à l'hydrogène.....	16
2.4.1	L'accidentologie liée à l'hydrogène.....	16
2.4.2	Les risques en termes de sécurité et les événements redoutés.....	17
2.4.3	Les risques associés aux nouveaux usages de l'hydrogène.....	18
2.5	La gouvernance des risques.....	20
3	Objectifs de l'étude exploratoire.....	23
4	Méthodologie.....	24
5	Résultats.....	28
5.1.1	Le rôle des acteurs de la transition énergétique dans le domaine de l'hydrogène.....	28
5.2	Un cadre réglementaire pour soutenir l'hydrogène décarboné tout en maîtrisant les risques 31	
5.2.1	La territorialisation de la transition énergétique encouragée par la réglementation.....	31
5.2.2	Une réglementation de l'hydrogène à adapter aux nouveaux usages.....	32
5.2.3	Etat d'avancement de l'adaptation de la réglementation de l'hydrogène.....	34
5.3	Les interactions entre les différents acteurs sur la maîtrise des risques au sein des « projets hydrogène ».....	36
5.3.1	Focus sur les interactions de la DGPR avec les autres acteurs.....	36
5.3.2	Focus sur les interactions des porteurs de « projets hydrogène » avec les autres acteurs 37	
5.3.3	Focus sur les interactions des SDIS avec les autres acteurs.....	39
5.4	La perception des acteurs sur la place du risque au sein des « projets hydrogène ».....	40
5.4.1	Une vision hétérogène sur ce qu'est le risque.....	40
5.4.2	Une perception divergente de la prise en compte des risques.....	41
5.5	Retour sur le rôle de l'hydrogène dans la transition énergétique.....	44
5.6	Un partage du retour d'expérience à impulser au sein de la filière.....	46
5.7	Un public absent de la gouvernance des risques.....	47
5.8	La perception du public du vecteur hydrogène.....	47
6	Conclusion.....	51
7	Références.....	53
8	Annexes.....	58



## Résumé

La transition énergétique fait référence à l'ensemble des changements engagés pour réduire l'impact environnemental de la production, de la distribution et de la consommation d'énergie (électricité, gaz...). Elle s'inscrit dans un mouvement souhaité par la puissance publique de territorialisation de l'énergie et de son appropriation par les acteurs locaux. Le développement des technologies de l'hydrogène amène une évolution dans les modes de conversion de l'énergie, ainsi que dans les façons de la stocker, de la transporter, de la distribuer et de l'utiliser. Ce développement doit impérativement s'accompagner de la prise en compte des enjeux de sécurité, afin de prévenir des accidents qui pourraient mettre en danger des vies humaines et réduire fortement l'acceptabilité sociale de ce vecteur énergétique. En effet, les caractéristiques physico-chimiques de l'hydrogène en font un gaz non dénué de danger pour les êtres humains, puisqu'il est très facilement inflammable et imperceptible aux sens, étant incolore, inodore et insipide. Que ce soit pour des industries aux procédés éprouvés ou pour des applications nouvelles comme la mobilité, les risques liés aux propriétés physico-chimiques de l'hydrogène restent inchangés.

La transition énergétique, notamment le recours au vecteur hydrogène, s'inscrit dans un système de gouvernance dans le sens où l'action publique est élaborée et mise en œuvre en prenant en compte une pluralité d'acteurs, à travers un processus collectif de négociation qui oriente les décisions et les actions, et de légitimation à travers l'information, la consultation et la participation des citoyens. La manière dont sont pris en compte les risques au sein de la gouvernance est primordiale pour s'assurer de leur maîtrise.

La présente étude exploratoire porte sur la gouvernance des risques dans le domaine de l'hydrogène. L'objectif de l'étude est de décrire la gouvernance de la filière hydrogène et la manière dont les risques y sont considérés, ainsi que d'apporter le point de vue des acteurs. La méthodologie déployée se base sur les sciences humaines et sociales et mobilise des méthodes qualitatives (entretiens et analyse documentaire). 60 entretiens individuels et collectifs d'une durée d'1h à 1h45 avec des représentants de toutes les classes d'acteurs en lien avec l'hydrogène ont été menés (puissance publique, ONG, industriels, collectivités territoriales, organisation professionnelle, services de secours, etc.).

Les résultats de l'étude démontrent de fortes interactions entre certains des acteurs autour de la maîtrise des risques des « projets hydrogène ». Les échanges entre les porteurs des « projets hydrogène » et les DREAL semblent primordiaux pour la maîtrise des risques au sein du déploiement de la filière hydrogène, puisqu'ils participent à la sensibilisation des porteurs de projets aux risques et qu'ils permettent de réaxer certains projets dès les phases amont. L'adaptation de la réglementation aux nouveaux usages de l'hydrogène est en cours, pilotée par la DGEC et la DGPR, associant France Hydrogène. Les risques liés à l'hydrogène sont abordés au sein de France Hydrogène dans le cadre d'un GT qui porte sur cette adaptation réglementaire. Cette instance est toutefois jugée comme insuffisante par certains acteurs, qui ont exprimé le besoin d'autres lieux d'échanges complémentaires sur la sécurité liée à l'hydrogène. En effet, les différentes classes d'acteurs en lien avec l'hydrogène ont des approches et des pratiques de gestion des risques qui semblent différentes, bien que tous aient exprimé le fait que la gestion des risques et la sécurité sont primordiales, sans toutefois mettre les mêmes significations derrière le terme « risque ». Une grande partie des porteurs de projets ont recours à de l'expertise externe, notamment pour les analyses de risques. Cette pratique peut comporter des risques si le porteur de projet ne se les approprie pas ; elle comporte aussi des avantages puisqu'elle permet de nourrir les dynamiques d'apprentissage et d'éclairer certaines décisions. Concernant les dynamiques d'apprentissage, le retour d'expérience, outil essentiel du management de la sécurité, est mis en œuvre chez certains acteurs, mais il n'existe pas de partage de retour d'expérience formalisé au sein de la filière hydrogène en matière de sécurité. Enfin, même si la volonté de les impliquer est présente, le public reste à ce jour relativement absent de la gouvernance, *a fortiori* de la gouvernance des risques. Les résultats d'études récentes sur la perception et l'acceptabilité du vecteur hydrogène par le public français invitent pourtant les porteurs de projet à se saisir dès maintenant du sujet de l'implication des utilisateurs au développement des (futures) technologies hydrogène.

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

Institut national de l'environnement industriel et des risques, , Verneuil-en-Halatte : Ineris - 204518 - v1.0, 19/01/2022.

**Mots-clés** : Hydrogène, transition énergétique, gouvernance, régulation des risques

# 1 Introduction

Le présent document s'inscrit dans le cadre de la tâche D.1. « Gouvernance des risques dans la transition énergétique » de l'opération D. « Mix énergétique » du Programme d'appui aux politiques publiques (EAT-DRA-06). Il présente des résultats exploratoires qui portent sur la manière dont sont pris en compte les risques au sein de la gouvernance dans le domaine de l'hydrogène en France.

## 2 Contexte

### 2.1 Le vecteur Hydrogène

Le dihydrogène, molécule abondamment présente sur la planète, est source d'espoir depuis très longtemps. Jules Verne, visionnaire, écrivait en 1875 dans l'Ile mystérieuse que l'eau serait employée comme combustible : « – Et qu'est-ce que l'on brûlera à la place du charbon ? [...] – [...] l'eau, décomposée en ses éléments constitutifs, répondit Cyrus Smith, et décomposée, sans doute, par l'électricité, qui sera devenue alors une force puissante et maniable, car toutes les grandes découvertes, par une loi inexplicable, semble concorder et se compléter au même moment. Oui, mes amis, je crois que l'eau sera un jour employée comme combustible, que l'hydrogène et l'oxygène, qui la constitue, utilisés isolément ou simultanément, fourniront une source de chaleur et de lumière inépuisable et d'une intensité qui la houille ne saurait avoir... L'eau est le charbon de l'avenir. »

Grâce au dihydrogène<sup>1</sup>, qui peut être produit à partir de l'eau et qui, en brûlant dans l'air ou en étant converti en électricité<sup>2</sup>, produit lui-même de l'eau, la réalité est sur le point de rejoindre la fiction de Jules Verne. L'hydrogène a en effet de nombreux avantages : il est à la fois inépuisable<sup>3</sup>, non polluant<sup>4</sup> et extrêmement versatile en termes d'utilisation, ce qui explique qu'il soit souvent présenté comme un élément clé de la transition énergétique. L'hydrogène est néanmoins rarement présent à l'état pur sur terre et il est le plus souvent lié à d'autres éléments tels que le carbone ou l'oxygène. Pour pouvoir être utilisé, il doit être extrait, notamment à partir de l'eau ou du méthane. La production de l'hydrogène commence donc toujours par une transformation d'énergie, c'est pourquoi l'hydrogène est un vecteur énergétique, et non pas une source d'énergie primaire.

#### 2.1.1 La chaîne de valeur de l'hydrogène

L'hydrogène offre la possibilité de choisir les composantes « énergie d'entrée » (énergies renouvelables, nucléaire, énergies fossiles), « transport et stockage » (massif ou non, de longue durée ou non) et « énergie de sortie » (électricité, méthane, ammoniac, hydrogène utilisé comme matière première ou injecté dans le réseau gaz, chaleur) indépendamment les unes aux autres, avec des combinaisons extrêmement variées (Durville, Gazeau, Nataf, Cueugnet, & Legait, 2015). L'utilisation du vecteur hydrogène permet d'optimiser chacune des trois composantes listées ci-avant pour garantir la meilleure équation économique en fonction des usages recherchés. Néanmoins, pour être économiquement et écologiquement viable, la production d'hydrogène doit répondre à trois critères (CEA, 2013)<sup>5</sup> :

- La compétitivité : les coûts de production ne doivent pas être trop élevés ;
- Le rendement énergétique : la production ne doit pas nécessiter trop d'énergie ;
- L'innocuité environnementale : le processus de fabrication doit être non polluant et décarboné, sous peine d'annuler l'un des principaux atouts de l'hydrogène.

Plusieurs méthodes de production de l'hydrogène sont aujourd'hui parfaitement opérationnelles, mais aucune ne répond encore simultanément à ces trois critères. Les deux principales méthodes reposent sur le vaporeformage d'énergie fossile (hydrocarbures) et la décomposition de la molécule d'eau par électrolyse. Le vaporeformage d'énergie fossile consiste à exposer du gaz à une vapeur très chaude afin de libérer le dihydrogène, tandis que l'électrolyse repose sur une technique par laquelle un courant électrique décompose chimiquement l'eau en dioxygène et dihydrogène. La production d'hydrogène par reformage couvre 95% de la production d'hydrogène à l'heure actuelle. Elle a l'inconvénient de rejeter du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), c'est pourquoi pour limiter l'impact sur l'environnement, cette méthode de production de l'hydrogène à partir de combustibles fossiles supposerait de capter et de stocker le gaz carbonique dans le sous-sol (gisements déplétés ou aquifères salins) ou d'élaborer des procédés qui valorisent le CO<sub>2</sub>. L'électrolyse, quant à elle, est la solution la plus intéressante en termes d'émission de gaz à effet de serre, à condition toutefois que l'électricité utilisée pour la dissociation soit d'origine

<sup>1</sup> Dans la suite du rapport, la dénomination « dihydrogène » est volontairement abrégée en « hydrogène »

<sup>2</sup> Via une pile à combustible (PAC)

<sup>3</sup> Sous réserve d'avoir des ressources en eau suffisante

<sup>4</sup> Sa combustion dans l'air peut toutefois générer des oxydes d'azote, qu'il convient de filtrer

<sup>5</sup> La sécurité des technologies de l'hydrogène est aussi un critère à prendre en compte, nous y reviendrons dans la partie 2.4.

renouvelable (éolien, solaire, hydraulique) ou bas carbone (nucléaire). Différentes voies d'électrolyse sont actuellement étudiées. Pour être rentable, ce procédé exige de pouvoir disposer de courant électrique à très faible coût étant entendu que la quantité d'énergie électrique nécessaire à l'électrolyse dépend des conditions de pression et de température du procédé utilisé. La biomasse (bois, paille, etc.) pourrait également constituer une source potentiellement importante d'hydrogène : la pyrolyse de cette biomasse génère un mélange appelé « gaz de synthèse » (ou syngas), constitué principalement de monoxyde de carbone et de dihydrogène, que l'on purifie ensuite pour éliminer les polluants. Enfin, la recherche actuelle porte aussi sur la production d'hydrogène naturel ou produit par des microalgues ou des bactéries qui utilisent la lumière et des enzymes spécifiques.

Un second enjeu pour que l'hydrogène puisse devenir le vecteur énergétique de demain est la mise au point de son stockage, de son transport et de sa distribution. En effet, l'hydrogène ne peut jouer son rôle de vecteur d'énergie que si l'on peut le stocker efficacement, pour un coût limité et dans des conditions de sécurité acceptables. Très peu dense, l'hydrogène doit être comprimé à des pressions importantes (de 200 à 700 bar) pour être transportable dans un volume raisonnable. En fonction de l'utilisation qui en sera faite (industrielle, domestique ou mobile), différents modes de stockage peuvent être envisagés. Deux modes principaux ressortent à l'heure actuelle (INERIS, 2016) : le stockage d'hydrogène gazeux à haute pression qui est une solution bien connue, simple à mettre en œuvre et l'hydrogène liquéfié à -253°C, qui permet des densités énergétiques encore plus importantes, mais qui est un procédé très énergivore et qui pose la question de la gestion de la récupération du gaz d'évaporation<sup>6</sup>. A noter enfin que le stockage souterrain d'hydrogène en cavité saline est actuellement étudié en France (Cf. Projet HyPSTER<sup>7</sup>).

Un vaste réseau de distribution compatible avec les caractéristiques spécifiques de l'hydrogène va aussi devoir se mettre en place afin de permettre toutes les utilisations envisagées. Dans les schémas actuels, la logique de distribution pour l'industrie chimique est de produire l'hydrogène dans des unités centralisées, pour ensuite l'utiliser sur site ou le transporter par pipelines. Il est aussi prévu que l'hydrogène soit produit localement pour ensuite être distribué via des stations de chargement. En effet, pour distribuer l'hydrogène à de futurs utilisateurs qui s'en serviraient pour se déplacer, des infrastructures de ravitaillement, telles que les stations-services et leurs intégrations dans l'infrastructure existante, sont en cours de développement au niveau du territoire français<sup>8</sup>. Il existe à l'heure actuelle 71 stations-services en France.

Les divers usages envisagés pour l'hydrogène tels que la mobilité reposent soit sur l'utilisation de l'hydrogène directement comme combustible, soit sur la technologie de la pile à combustible, cette dernière technologie étant la plus répandue. Le principe de la pile à combustible est l'inverse d'une électrolyse. La réaction chimique produite par l'oxydation et la combinaison du dihydrogène et du dioxygène produit de l'électricité, de l'eau et de la chaleur. Il existe plusieurs types de piles à combustible qui se différencient notamment par leur électrolyte. Celui-ci définit la température de fonctionnement et donc les applications. La R&D porte actuellement sur les améliorations techniques (compacité, rendement énergétique, résistance à l'usure, fonctionnement sur de nombreux cycles...) ainsi que sur la baisse des coûts de production.

## 2.1.2 La « couleur » de l'hydrogène

L'hydrogène n'existe quasiment pas à l'état naturel sur Terre, il faut le produire. L'impact de l'hydrogène sur le verdissement de l'économie, et sur le changement climatique d'une manière générale, dépend de la façon dont ce corps gazeux est extrait pour le convertir en énergie pour les usines, les moyens de transport ou le chauffage.

---

<sup>6</sup> L'INERIS a participé au projet de recherche pré-normatif sur l'utilisation sûre de l'hydrogène liquide cryogénique PRES-LHY : <https://preslhy.eu/>

<sup>7</sup> Le projet HyPSTER est le premier site pilote de stockage souterrain d'hydrogène vert en cavité saline en France, lancé en janvier 2021. Il est coordonné par Storengy et regroupe sept partenaires, dont l'Ineris qui accompagne ce projet sur les questions de sécurité d'une telle technologie.

<sup>8</sup> L'INERIS participe au projet européen MulHyFuel qui vise le développement d'une stratégie d'implantation de stations-service délivrant des multi-carburants : essence, diesel, électrique, GPL, GNL, GN incluant l'hydrogène : <https://multhyfuel.eu/>

Pour différencier son origine, des couleurs ont été données à l'hydrogène selon son mode de production. Lorsqu'il est produit à partir de matières fossiles (charbon, lignite, gaz naturel...) l'hydrogène sera noir, brun ou gris. Il sera bleu s'il est produit par vaporeformage de ressources fossiles couplé à une chaîne de captage, de transport puis de stockage du carbone. Lorsqu'il est produit par électrolyse de l'eau, il sera vert si l'électricité utilisée est d'origine renouvelable (hydraulique, éolienne ou solaire) et jaune (ou rose) si celle-ci est d'origine nucléaire.

Cette classification par couleur, certes très utilisée pour son côté didactique, n'est pas privilégiée par la puissance publique. Ainsi, l'ordonnance n°2021-167 du 17 février 2021 relative à l'hydrogène présente des terminologies privilégiant les attributs environnementaux de l'hydrogène. Respectant un principe de neutralité technologique, les catégories proposées mettent en avant la source d'énergie primaire utilisée ou les émissions de gaz à effet de serre associées. La typologie inclut trois catégories :

- L'hydrogène renouvelable, produit à partir de sources d'énergies renouvelables et dont le procédé de production respecte un seuil d'émission d'équivalents de CO<sub>2</sub> émis par kilogramme d'hydrogène produit (3 kgCO<sub>2</sub>eq/kg) ;
- L'hydrogène bas-carbone, produit à partir de sources d'énergies non renouvelables et respectant le même seuil de 3 kgCO<sub>2</sub>eq/kgH<sub>2</sub>. L'électrolyse alimentée par de l'électricité du mix électrique français serait concernée, ainsi que les procédés associant des techniques de captage, séquestration ou utilisation du carbone pouvant réduire considérablement les émissions de CO<sub>2</sub> en sortie d'usine ;
- L'hydrogène carboné, désigne un hydrogène ni renouvelable ni bas-carbone. Sont regroupées ici une grande partie des productions à partir des énergies fossiles, telles que l'hydrogène produit par vaporeformage de gaz naturel ou la gazéification du charbon ou encore l'hydrogène produit par électrolyse alimentée par des mix électriques carbonés. Mais aussi potentiellement des productions à partir d'énergies renouvelables qui ne qualifieraient pas au seuil d'émission. Cela pourrait concerner par exemple de l'hydrogène produit à partir de biomasse ou de biogaz, selon la nature des intrants utilisés et l'empreinte carbone associée, ou encore en fonction des fuites de méthane prises en compte en amont.

## 2.2 L'hydrogène comme vecteur clé de la transition énergétique

### 2.2.1 La transition écologique et la transition énergétique

La transition écologique consiste en une évolution vers un nouveau modèle économique et social qui renouvelle les façons de consommer, de produire, de travailler et de vivre ensemble. Elle a pour objectif de répondre aux grands enjeux environnementaux considérés comme majeurs, tels que le changement climatique, la réduction de la biodiversité, la diminution et le risque de disparition de certaines ressources et espèces et l'accroissement des risques environnementaux. Elle s'annonce très différente des grandes ruptures sociotechniques du passé dans la mesure où elle est programmée (avec pour objectif la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>), elle est accélérée (dans le contexte de l'urgence climatique et de la perte de biodiversité) et elle appelle des formes spécifiques de gouvernance, faisant émerger certains acteurs dans des rôles prépondérants (Lemarchand, 2021). Pour la France, ces acteurs sont à l'échelle intermédiaire, celle de la cité, de la région ou de la PME, et ils gèrent les réseaux de transport urbains, les boucles énergétiques locales, les circuits courts alimentaires et déploient aujourd'hui des initiatives novatrices en matière de transition (Haëntjens, 2020; Papon, 2020). En plus de ces acteurs à l'échelle intermédiaire, le rôle du grand public et sa participation aux débats va dans le sens d'une territorialisation de la transition écologique (Vandelac & Lemarchand, 2021).

La transition écologique amène à entreprendre simultanément des actions dans plusieurs domaines, tels que le domaine agro-alimentaire, le domaine technologique et industriel, le domaine de l'urbanisme et le domaine de la mobilité (Gérardin & Damette, 2020). Elle comporte aussi une dimension éthique et démocratique, puisqu'elle revient à s'interroger sur les possibilités qu'ont les individus et collectivités à faire entendre leurs voix sur leurs relations à l'environnement (relatif au « mieux-vivre », au souci de l'autre, au devenir de la planète, etc.) (Laigle, 2014). On peut ainsi constater une accélération depuis quelques années de la dynamique écologique, en direction d'un changement de paradigme de civilisation, mue par une prise de conscience accrue des citoyens (Bourg, 2021), qui reconfigure également les questionnements sur la gestion des risques dans sa dimension désormais globale (Le Coze J.-C. , 2020). Il s'agit donc d'une transition dans laquelle les habitants et les milieux associatifs se mobilisent pour entretenir un autre rapport à leur milieu de vie, en s'engageant dans des actions qui font sens pour eux du point de vue des liens tissés au territoire. C'est d'ailleurs pourquoi, selon Laigle

(2014), la transition écologique pourrait amener l'action publique à être à l'écoute du sens et des « capacités de faire » (au sens d'Amartya Sen<sup>9</sup>) émanant de la société civile, plus qu'à se positionner en simple relais multi-niveau d'initiatives citoyennes et associatives souvent isolées et fragmentées<sup>10</sup>.

**La transition énergétique est un des volets de la transition écologique. Elle fait référence à l'ensemble des changements engagés pour réduire l'impact environnemental de la production, de la distribution et de la consommation d'énergie (électricité, gaz...).** Le modèle de transition énergétique français est une transition « orchestrée » (Aykut & Evrard, 2017), reposant sur une logique descendante impulsée par l'Etat, qui veille au maintien des grands équilibres tout en laissant aux acteurs territoriaux une marge d'interprétation plus importante que par le passé (Bourg, 2021). Le système énergétique français actuel correspond à une production d'électricité centralisée, centrée sur le nucléaire et associée à une concentration des fonctions de production et de distribution de l'électricité, ainsi que des compétences techniques afférentes (Christen & Hamman, 2014; Aykut & Evrard, 2017). La transition énergétique, et plus particulièrement l'essor des énergies renouvelables, questionne ce modèle centralisé.

Deux types d'idéaux s'affrontent : Le premier, souvent porté par des extérieurs au système énergétique et assez critiques, défend une approche *bottom-up* et prône une transformation fondamentale du système actuel, associé à une transformation du système de valeurs (Ex : systèmes décentralisés à l'initiative d'un secteur associatif développant une régulation citoyenne de l'énergie) ; le second, plus consensuel et *top-down*, défend une modernisation dans le cadre du système actuel, avec un accent mis sur les innovations techniques (Ex : régulation centralisée portée par les acteurs historiques) (Raineau, 2011; Aykut & Evrard, 2017; Evrard, 2014; Lemarchand, 2021). Ainsi, pour certains il n'existerait non pas une, mais des transitions énergétiques, tandis que pour d'autres, la transition énergétique tend vers une hybridation des modèles (Christen, 2017). En effet, les énergies renouvelables peuvent, soit se développer comme énergie de substitution dans un système centralisé, soit se développer sous des formes coopératives territorialisées où se constituent des modes collectifs de gestion décentralisée (Lopez, 2019; Evrard, 2014). Quoi qu'il en soit, il peut être observé qu'à l'heure actuelle, l'entrée des énergies renouvelables s'effectue principalement par le marché afin de développer les secteurs industriels, car, finalement, la transition énergétique s'inscrit pour le moment principalement dans un jeu combiné du marché et de l'innovation qui cherche à générer des opportunités de profits à partir de « technologies vertes » (Christen & Hamman, 2014).

## 2.2.2 Le rôle de l'hydrogène dans la transition énergétique

La France vise la neutralité carbone à l'horizon 2050 en réduisant de 81 % ses émissions atmosphériques de gaz à effet de serre par rapport à 2015. C'est ainsi que le Gouvernement a d'ores et déjà défini, pour les dix prochaines années, sa trajectoire via la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE)<sup>11</sup>. Parmi les objectifs fixés, figure le développement de la production d'hydrogène renouvelable et bas-carbone dans les usages industriels, énergétiques et pour la mobilité<sup>12</sup>. Ainsi, à l'occasion de la présentation de France Relance en septembre 2020, l'Etat français a précisé sa stratégie ambitieuse pour la filière hydrogène avec un montant d'investissement de 7,2 milliards d'Euros d'ici 2030, dont 2 milliards d'euros d'ici 2022, auxquels se sont ajoutés 1,9 milliards d'Euros dans le

---

<sup>9</sup> Amartya Sen est un économiste et un philosophe indien, prix Nobel de sciences économiques en 1998. Selon cet auteur, il faut non seulement prendre en compte ce que possèdent les individus, mais aussi leur capacité, leur liberté à utiliser leurs biens pour choisir leur propre mode de vie.

<sup>10</sup> La gouvernance locale de la transition écologique pose néanmoins question, en particulier pour ce qui a trait à la gestion de la transversalité et in fine, la capacité des territoires à réellement agir dessus. Nous n'approfondissons pas ce point dans la présente étude, mais nous invitons le lecteur à consulter la tribune de Marie Defay (Economiste et urbaniste), Edouard Dequeker (Professeur à la chaire d'économie urbaine de l'Essec) et Julien Villalongue (Directeur de Leonard, plate-forme de prospective et d'innovation du groupe Vinci) parue dans *Le monde* en octobre 2021, disponible ici : [https://www.lemonde.fr/idees/article/2021/10/20/amenagement-des-territoires-il-y-a-bel-et-bien-en-france-un-probleme-de-gouvernance-locale-de-la-transition-ecologique\\_6099233\\_3232.html#xtor=AL-32280270-\[default\]-\[android\]](https://www.lemonde.fr/idees/article/2021/10/20/amenagement-des-territoires-il-y-a-bel-et-bien-en-france-un-probleme-de-gouvernance-locale-de-la-transition-ecologique_6099233_3232.html#xtor=AL-32280270-[default]-[android]).

<sup>11</sup> Décret n° 2020 456 du 21 avril 2020.

<sup>12</sup> Outre son enjeu environnemental de solution pour décarboner l'industrie et les transports lourds, l'hydrogène est considéré par le gouvernement comme une priorité pour la souveraineté énergétique et industrielle de la France, l'hydrogène offrant l'opportunité de créer une filière et un écosystème industriels créateurs d'emplois et l'hydrogène permettant de réduire la dépendance de la France vis-à-vis des importations d'hydrocarbures (DGECC, 2020).

cadre du plan France 2030, soit environ 9 milliards d'Euros au total. La stratégie hydrogène de la France à horizon 2030 comprend :

- Le fait de décarboner à usage industriel et développer un marché de masse pour l'électrolyse (6,5GW en 2030). La décarbonisation de l'industrie dont il est question repose sur l'émergence d'une filière française de l'électrolyse de l'eau utilisant une électricité décarbonée (éolien, photovoltaïque, hydraulique, nucléaire, etc.) ou dont les émissions seraient captées et stockées. Cela permettra de produire les 2/3 de la consommation française d'hydrogène annuelle,
- Le développement de la mobilité lourde hydrogène décarboné à travers des flottes captives à valeur ajoutée française,
- La préparation des usages de demain à travers le soutien de la recherche fondamentale, le financement de démonstrateurs de grande envergure et le développement de composants clés.

Le soutien financier de l'Etat au déploiement de l'hydrogène dans l'ensemble des territoires s'effectue notamment au travers des crédits alloués à l'ADEME, qui ensuite les redistribue *via* ses appels à projets instruits par ses agences régionales.

Le constat est que la production, le stockage, le transport, la distribution, c'est-à-dire toute la chaîne de valeur de l'hydrogène est en train de changer d'échelle pour répondre aux objectifs fixés par le Gouvernement (Carcaly, 2021). On parle maintenant de « **filière hydrogène** », étant entendu qu'une **filière énergétique est un ensemble de techniques dont le rendement global assure la rentabilité économique** (Papon, 2020). Le stockage énergétique permis par les technologies de l'hydrogène offre notamment un pont entre la production d'énergies renouvelables et la distribution d'énergie à grande échelle, ce qui est la principale valeur ajoutée de l'hydrogène et laisse augurer la construction d'un nouveau système énergétique soutenable (Damette, Cremel, Demaie, & Lemoine, 2020).

Le développement des technologies de l'hydrogène amène une évolution dans les modes de production de l'énergie, ainsi que dans les façons de la stocker, de la distribuer, de la transporter et de la consommer. Comme outils de production, de stockage et de transport de l'énergie « relativement accessibles »<sup>13</sup>, les technologies de l'hydrogène pourraient représenter pour chaque territoire un moyen de retrouver des prises, des « capacités de faire », sur ce qui se passe en matière de production et de consommation de l'énergie (Ngounou Takam, 2021). Ainsi, plus qu'un enjeu seulement économique, le recours aux technologies de l'hydrogène peut être vu comme un moyen de faire revenir des possibilités de prise collective et démocratique sur les processus de production, de stockage et de consommation de l'énergie.

### 2.2.3 L'usage historique de l'hydrogène

A l'heure actuelle, l'hydrogène consommé en France répond presque exclusivement à des usages industriels non énergétiques, principalement dans les secteurs du raffinage pétrolier et de la chimie : d'une part, il sert de matière de base pour la production d'ammoniac (engrais) et de méthanol ; d'autre part, il est utilisé comme réactif dans les procédés de raffinage des bruts en produits pétroliers, carburants et biocarburants. Ainsi, l'usage de l'hydrogène en France induit, pour l'heure, l'émission d'une quantité importante de gaz à effet de serre (3% des émissions françaises) et fait actuellement partie des problèmes à surmonter par la France en vue d'atteindre la neutralité carbone visée à l'horizon de 2050.

### 2.2.4 Les nouveaux usages de l'hydrogène

Récupérer de l'énergie à partir de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone préalablement stocké se fait soit sous forme de chaleur via sa combustion directe avec le dioxygène, soit sous forme d'électricité via une pile à combustible. Dans les deux cas, la réaction globale ne produit que de l'eau et l'énergie

---

<sup>13</sup> Nous mettons des guillemets car comme nous le verrons dans la section « Résultats », en particulier dans la partie « Perception du vecteur hydrogène par les citoyens », l'appropriation de la problématique hydrogène peut être ressentie comme complexe par le grand public.

produite peut être diversement valorisée, notamment pour la mobilité. Nous ne reprenons ci-après que les principaux nouveaux usages actuellement identifiés et mis en œuvre<sup>14</sup>.

**Le stockage de l'électricité** - Un premier usage est le stockage de l'électricité produite par les énergies renouvelables (éoliennes, panneaux photovoltaïques, centrales hydrauliques, etc.) sous forme d'hydrogène, pour pallier leur intermittence et réutiliser les surplus d'électricité produits par ces énergies. Dans le cadre du développement d'un mix électrique renouvelable (voir section suivante), l'électrolyse permet, quand le réseau est excédentaire (c'est-à-dire quand la production d'électricité est supérieure à sa consommation), de stocker de l'hydrogène sur un temps court ou long selon les besoins. Au contraire, dans le cas d'un réseau déficitaire, l'hydrogène disponible peut être réutilisé dans une pile à combustible pour fabriquer de l'électricité. A noter que ceci amènerait à transformer le réseau électrique, centralisé en France depuis le début du XXème siècle, pour le rendre « intelligent » à l'aide du numérique (*smart grids*) afin qu'il puisse répondre de manière rapide à la demande (Papon, 2020).

**L'alimentation des foyers en gaz** - L'une des voies de valorisation de l'hydrogène produit *via* les énergies renouvelables est son injection dans les réseaux de gaz naturel. L'hydrogène, en faible proportion, peut être injecté directement dans les réseaux de gaz (*power-to-gas*, le gaz étant ici l'hydrogène), soit par injection directe dans les réseaux gaziers pour combustion, soit par production de méthane de synthèse (selon le principe de méthanation) : conversion du monoxyde de carbone (CO) ou du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) en présence d'hydrogène en méthane, qui peut ensuite être transformé en chaleur, électricité ou carburant (INERIS, 2019).

**La mobilité** - Un autre usage important est l'utilisation de l'hydrogène pour décarboner les transports. L'enjeu est de développer la mobilité propre en visant en premier lieu les véhicules lourds, avec des transports collectifs et de marchandises fonctionnant à l'hydrogène (trains, avion, poids lourds, véhicules utilitaires, bennes à ordures ménagères...). Ainsi, dans le secteur du transport, l'hydrogène serait utilisé en complément de véhicules à batteries. Sans qu'un consensus clair n'émerge sur le sujet, certains avancent l'idée que les véhicules 100% électriques seront plus adaptés sur des véhicules légers, avec de petites distances journalières (inférieures à 100 km/jour), tandis que l'hydrogène a sa place là où la batterie seule n'est simplement pas viable, comme le transport lourd longue distance. C'est ainsi que plusieurs villes ont déjà introduit l'hydrogène dans leur réseau de bus (Pau, Lens, Houdain, Versailles, etc.) ou ont acté cette évolution (Dijon, Montpellier, Auxerre, Toulon, etc.). Pour ce qui concerne le ferroviaire, la SNCF a annoncé en avril 2021 la commande de quatorze trains régionaux à hydrogène. Le transport fluvial et maritime s'intéresse aussi à introduire l'hydrogène, comme en atteste le tour du monde réalisé par le bateau *Energy Observer* pour démontrer de la possibilité d'utiliser ce mode de propulsion. Enfin, quelques start-ups proposent des vélos fonctionnant à l'hydrogène.

**L'industrie** - Un autre usage prévu pour l'hydrogène, qui n'est pas des moindres, est la décarbonation du secteur industriel (voir partie 4.1). L'objectif est d'utiliser l'hydrogène, d'une part pour alimenter en énergie décarbonée les unités industrielles concernées, d'autre part pour contribuer à la décarbonation des procédés industriels concernés en substitution des énergies fossiles utilisées actuellement.

**Les applications stationnaires** - Un dernier usage de l'hydrogène souvent cité est l'autoconsommation, qui sera permis par l'alimentation de générateurs électro-hydrogène qui produiront de l'électricité zéro émission dans des zones où l'électricité n'est pas facilement accessible (chantiers, événementiel, régions isolées...).

## 2.2.5 La décarbonation du mix énergétique intégrant l'hydrogène

La transition énergétique a pour objectif de substituer progressivement l'énergie fossile par la production d'énergie issue de sources renouvelables dépendantes du territoire. Le système de production et de distribution de l'énergie jusqu'alors centralisé autour de grandes unités de production gérées par des entreprises comme EDF, ENEDIS, GRTgaz, devrait se décentraliser et se densifier avec l'implantation de petites unités de production d'énergie au sein des territoires qui, par construction, seraient

---

<sup>14</sup> Un mémorandum d'accord de recherche vient d'être signé entre General Electric, GRTgaz, l'INERIS, McPhy et le réseau des Universités de Technologie Françaises pour accélérer l'innovation autour de l'hydrogène pour tous les usages, incluant les projets bas-carbone pour la production d'électricité au gaz et les applications industrielles ([https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/30.09.21.France%20H2%20MOU%20PR\\_FINAL\\_FRANCAIS\\_12h.pdf](https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/30.09.21.France%20H2%20MOU%20PR_FINAL_FRANCAIS_12h.pdf)).

interdépendantes les unes avec les autres (INERIS, 2020). C'est en cela que l'on parle de mix énergétique.

Les différentes voies de transformation de l'énergie impliquant l'hydrogène apportent des solutions de flexibilité et d'optimisation aux réseaux énergétiques, notamment en permettant de coupler les réseaux entre eux (Figure 1). L'injection d'hydrogène et/ou de méthane de synthèse dans le réseau gazier pourra permettre un couplage entre différents vecteurs d'énergie, assurant une souplesse de gestion supplémentaire à la situation actuelle. Il est ainsi possible de considérer le système énergétique dans sa globalité, incluant tous les vecteurs (électricité, gaz, chaleur), et d'optimiser sa performance en ajustant les degrés de liberté internes (moyens de stockage et voies de couplage). C'est à la fois la diversité d'usages – consommation finale pour la mobilité ou la production de chaleur et d'électricité, stockage de l'énergie – et la possibilité d'utiliser l'hydrogène comme vecteur de couplage des réseaux, qui amène à parler d'économie de l'hydrogène (Jammes, 2021).

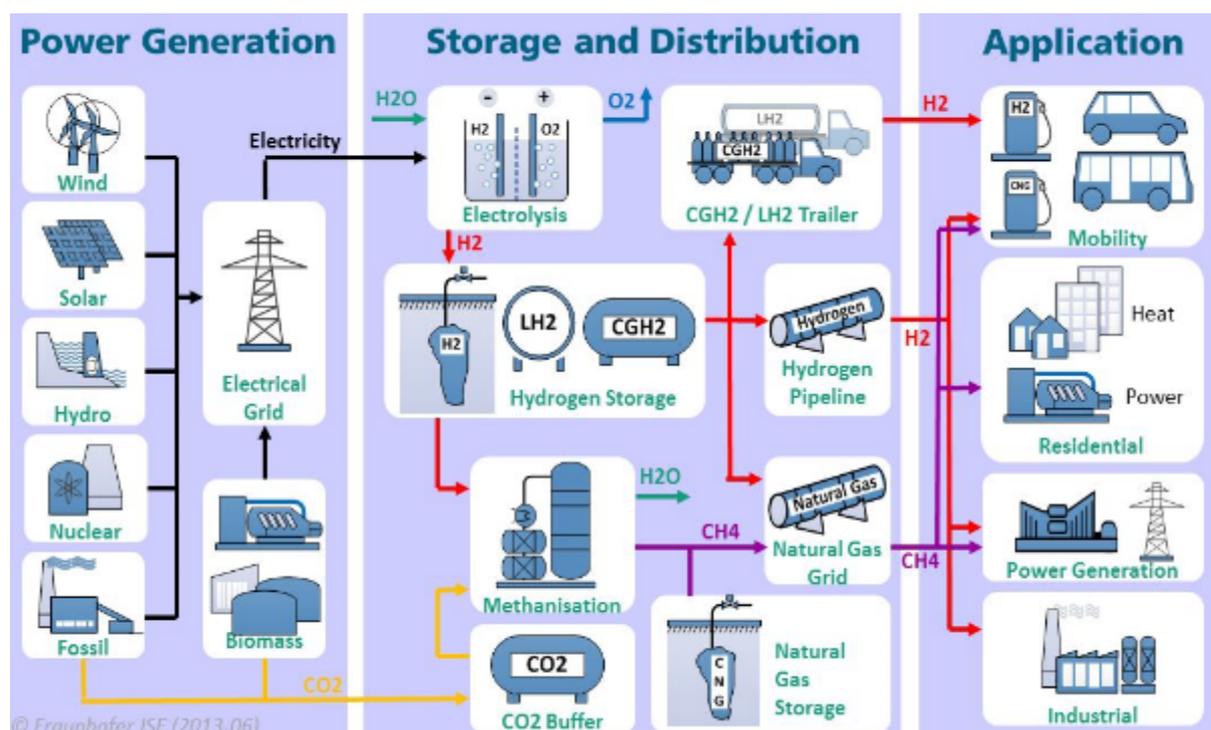


Figure 1 : L'hydrogène au cœur des systèmes énergétiques de demain (Issu de Fraunhofer, 2013)

## 2.3 Le déploiement de l'hydrogène en France

Dans les années 2000, sous l'impulsion de Jeremy Rifkin (Rifkin, 2002)<sup>15</sup>, certains voient en l'hydrogène une nouvelle innovation qui pourrait remplacer le charbon ou la machine à vapeur et relancer l'industrie, c'est à partir de ce moment-là que la terminologie « économie de l'hydrogène » prend son sens (Damette, Cremel, Demaie, & Lemoine, 2020). Depuis, plusieurs pays se sont lancés dans le déploiement de l'hydrogène, tels que le Japon et les Etats-Unis (Californie), l'Allemagne et la Corée du Sud, ainsi que la France, l'Angleterre, la Norvège, la Suède, le Danemark, et plus récemment des pays comme le Chili et l'Australie, qui se voient dans un avenir proche comme des fournisseurs de l'hydrogène vert en masse. Les Pays Bas, l'Italie, l'Espagne et le Portugal ont eux-aussi élaboré récemment des plans de déploiement d'hydrogène ambitieux.

Nous proposons de présenter le déploiement de l'hydrogène en France en utilisant la grille d'analyse proposée très récemment par Jammes (2021). Nous ne reprenons néanmoins pas toutes les analyses de l'auteur, les éléments recueillis lors des entretiens nous ayant permis de nuancer ou d'y apporter des précisions (voir la partie 5.5.2 ci-après pour plus de détails).

<sup>15</sup> Jeremy Rifkin est un essayiste américain, spécialiste de prospective économique et scientifique.

L'auteur s'est intéressé aux conditions permettant le déploiement de « feuilles de routes hydrogène » en France, au Japon et au Canada. Ces conditions sont les suivantes (Jammes, 2021, p. 16) :

- Une contribution claire et argumentée à l'effort de transition énergétique et un soutien politique à tous les niveaux ;
- Des acteurs nationaux publics et privés en capacité de mener les activités de R&D, de démonstration et d'industrialisation, nécessaires au déploiement des technologies sur les différents marchés concernés, et des mécanismes de soutien – notamment financier – à cet effort des pouvoirs publics ;
- Un engagement de toutes les parties prenantes, en particulier de la société civile, dans les débats sur le rôle de l'hydrogène dans la transition énergétique, ainsi que dans la définition et la réalisation des projets locaux de déploiement.

Il est à noter que la maîtrise des risques ne fait pas partie des conditions explicites prises en considération.

**Etablissement d'une feuille de route hydrogène** - Outre ces conditions, un premier prérequis pour l'établissement d'une feuille de route est de préciser l'utilisation possible des technologies hydrogène<sup>16</sup> et la possibilité de produire suffisamment d'hydrogène renouvelable pour atteindre les objectifs de transition énergétique du pays ou du territoire, et ainsi lui donner une certaine forme de légitimité. Il s'agit de vérifier que l'hydrogène peut être utilisé pour décarboner les usages finaux de l'énergie et que celui-ci peut être produit localement ou importé, puis distribué aux utilisateurs à des coûts rendant compétitives les technologies de l'hydrogène. Ceci implique de faire des études préliminaires, qui vont se concrétiser par l'élaboration de scénarios « hydrogène ». En France, ce travail a notamment démarré grâce à l'Association française pour l'Hydrogène et les Piles à Combustibles (AFHYPAC<sup>17</sup>), qui est allée recueillir des soutiens dans les régions, ce qui a débouché, en 2014, à une rencontre entre le Président de la République française François Hollande et Pascal Mauberger, Président de l'AFHYPAC, par ailleurs PDG de McPhy, une startup commercialisant des électrolyseurs. Les feuilles de route « West Normandie » à l'initiative du département de La Manche, les projets régionaux « territoires hydrogène », les initiatives de filières comme « H2Mobility France » ont vu le jour au niveau régional, pour ensuite être repris par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) en partenariat avec le Ministère de la transition écologique et l'AFHYPAC pour l'élaboration du Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique de 2018<sup>18</sup>.

**Un soutien politique à tous les niveaux** - Ce travail de préparation doit être soutenu par une volonté politique forte, tant au niveau national que local. Plusieurs appels à projets ont été lancés dans le cadre de la stratégie nationale hydrogène par le ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance, notamment l'appel à projets « Écosystèmes territoriaux hydrogène » de l'ADEME qui accompagne les déploiements d'écosystèmes hydrogène dans les territoires. Au niveau européen, plusieurs appels à projets de 2,6 milliards € sur l'hydrogène comme levier d'action pour construire une économie européenne « verte » est en construction. Des investissements très importants ont été récemment annoncés et visent à injecter 9 milliards d'euros d'ici à 2030 en France (cf. Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné). Ceci va bien au-delà du plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique de 2018 initié par Nicolas Hulot<sup>19</sup> qui consistait en un plan d'aide gouvernementale de 100 millions d'euros, petit pas pour développer la filière hydrogène propre et décarbonée. Pour assurer une mise en œuvre efficace de la Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné, le gouvernement a décidé de la création du Conseil national de l'hydrogène. Cette instance a pour rôle de structurer les échanges entre l'Etat et les parties prenantes de la mise en œuvre de la stratégie, en particulier les filières industrielles, et de mesurer le bon déroulement des

---

<sup>16</sup> On appelle « technologies de l'hydrogène » l'ensemble des technologies étudiées pour produire l'hydrogène, le stocker et le convertir à des fins énergétiques.

<sup>17</sup> L'AFHYPAC est depuis devenu France hydrogène.

<sup>18</sup> Le plan de déploiement est consultable ici : <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Rapport%20H2%20MTES%20CEA%200106.pdf>

<sup>19</sup> Un autre événement important de cette période, international celui-là, est la création de l'Hydrogen Council lors du Forum Économique de Davos en 2017. Ce conseil rassemble les principaux acteurs industriels de l'hydrogène et a pour objectif le développement de la filière dans le secteur de l'énergie et celui des transports.

actions prévues pour identifier, le cas échéant, les éventuels freins<sup>20</sup>. Cette volonté politique s'est accompagnée en France d'un soutien des services administratifs de l'état et des collectivités territoriales, ces derniers ayant souvent la responsabilité de la réalisation des actions concrètes de déploiement des solutions technologiques. En France, la volonté du Président du Conseil général de la Manche J-F Legrand fut déterminante en 2013 dans la création de l'association EHD2020 (Énergie Hydro-Data 2020), qui travailla à la définition puis à l'implémentation de la feuille de route hydrogène « West Normandie ». De même, l'engagement fort des élus régionaux dans les projets « territoires hydrogène » a permis l'éclosion de projets d'envergure, comme par exemple « Zero Emission Valley » en Auvergne-Rhône-Alpes, largement cofinancé par la région et l'Europe.

**Des acteurs nationaux en tête de file** - Une fois l'impulsion initiale donnée et le cadre établi, la deuxième série de conditions identifiée par Jammes (2021) a trait à la capacité du pays à favoriser l'émergence de champions nationaux, publics et privés, capables de mettre en œuvre le développement et le déploiement des technologies de l'hydrogène. Dans les trois pays étudiés par Jammes et notamment la France, les acteurs de la R&D publique et privée ont su se mobiliser pour assurer le développement des différentes technologies, par une montée en Technology Readiness Level (TRL) progressive. La validation des niveaux de TRL élevés, juste avant commercialisation, s'est faite par la réalisation de prototypes testés dans des conditions de plus en plus proches de celles de l'utilisation finale. En France par exemple, le déploiement de la mobilité hydrogène a été amorcé par des projets de démonstration de flottes captives de véhicules utilitaires, dans un contexte territorial donné (projet HyWay sur Grenoble et Lyon, projet EAS-HyMob en Normandie). Des acteurs académiques et instituts de recherche de premier plan, tels que le CEA-Liten, le CNRS, l'IFPEN puis le pôle de compétitivité Tenerrdis pour soutenir les startup (sur le plan de la R&D), se sont engagés dans les actions de R&D nécessaires à la maturation des technologies (amélioration des performances technico-économiques des technologies existantes, développement de technologies de rupture...)<sup>21</sup>. En parallèle, un tissu d'acteurs industriels positionnés sur les différents segments de la chaîne de valeur s'est développé : avec de grands groupes (AirLiquide, ENGIE, etc.), des entreprises de taille intermédiaire (ETI) et des petites et moyennes entreprises (PME) (McPhy, SymbioFCell, etc.). Selon Jammes, (2021), les phases de montée en TRL requièrent des plans de financement adaptés, notamment à travers des aides publiques accompagnant le développement et la démonstration. Les capacités financières et les priorités des pays diffèrent, en particulier pour le passage de la « vallée de la mort » de l'innovation – étape nécessaire de la démonstration – qui requiert des aides significatives alors même que les conditions de marché ne sont pas atteintes. Les co-financements européens ont partiellement rempli ce rôle pour les premiers projets de déploiement français. La maturité des solutions hydrogène ne sera néanmoins atteinte que lorsque le modèle économique associé à leur utilisation sera compétitif, ce modèle devant prendre en compte la totalité de la chaîne de valeur (production, distribution et usage final) (Jammes, 2021; Damette, Cremel, Demaie, & Lemoine, 2020; Comité de prospective de la CRE, Juin 2021; Papon, 2020). Le prix en termes de dépenses d'investissement des technologies émergentes étant généralement élevé, l'évaluation de la performance économique des solutions hydrogène est souvent faite sur le coût total de possession (TCO) pour l'utilisateur.

**Une implication souhaitable de la société civile** - Enfin, d'autres conditions semblent déterminantes pour créer et maintenir un engagement fort de toutes les parties prenantes dans la réalisation d'une feuille de route hydrogène sur un territoire donné. En premier lieu, la feuille de route hydrogène doit être en partie co-construite avec les citoyens et les organisations de la société civile, en engageant, toujours selon Jammes (2021), des débats sur le changement climatique et la transition énergétique, les technologies permettant de mettre en œuvre cette transition sur un territoire donné et la place possible pour les technologies de l'hydrogène. L'appropriation de la technologie par les usagers potentiels passe par des conférences à destination du grand public, des actions de démonstrations, l'organisation d'ateliers où les gens peuvent « faire » eux-mêmes. Le grand public peut ainsi se faire une opinion informée sur le potentiel de la technologie et en comprendre les différents enjeux. A titre d'illustration, l'association Relais d'sciences – Le Dôme à Caen a mené entre 2018 et 2021 une démarche *Living Lab*

---

<sup>20</sup> Pour plus de détails : <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid156309/www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid156309/installation-du-conseil-national-de-l-hydrogene.html>.

<sup>21</sup> A noter que la recherche occupe une place importante dans la montée en puissance de l'hydrogène en France, comme en atteste la création de la Fédération de recherche hydrogène (FdR H2), constituée par le CNRS et qui consiste en un réseau national des laboratoires de recherche travaillant autour de l'hydrogène et plus récemment le PEPR hydrogène, dont les 1<sup>er</sup> appels à projet ont été publiés le 30 novembre : <https://anr.fr/fr/detail/call/pepr-hydrogene-decarbone-appel-a-projets-2021/>

dans le cadre du programme de recherche Téthys<sup>22</sup> sur la transition énergétique et l'hydrogène. Cette démarche visait notamment à produire avec la population des supports de médiation, puis des scénarios d'usages de l'hydrogène dans le cadre de la transition énergétique, assorti d'un prototype (Léon, un robot aquatique nettoyeur fonctionnant à l'hydrogène) (Amand, Dobré, Lapostolle, Lemarchand, & Ngounou Takam, 2020; Millet & Ducoulombier, 2021; Amand, Ducoulombier, & Millet, 2021). Nicolas Dupuis (2019) dans sa thèse a, quant à lui, étudié l'acceptabilité sociale de l'hydrogène et son processus de co-conception de savoirs. Il a notamment démontré qu'un territoire qui souhaite accueillir un projet lié à l'hydrogène a tout intérêt à intégrer une étude d'acceptabilité sociale du projet en question afin d'anticiper les dynamiques sociales à l'œuvre, ceci afin de mieux comprendre les phénomènes éventuels de réticences et de rejet d'une technologie et de fournir aux acteurs des outils d'aide à la décision et à l'action publique. Il est toutefois à noter que ces initiatives de co-conception avec les citoyens restent peu employées par les porteurs de projet hydrogène, comme l'ont confirmé les entretiens menés dans le cadre de la présente étude. En complément, des formations sur l'hydrogène et la transition énergétique dans les écoles, lycées et universités, ou dans le cadre de la formation permanente, permettraient de diffuser plus largement les connaissances techniques de base.

**Un déploiement de l'hydrogène diffus** - Ainsi, le déploiement de l'hydrogène en France ne s'est pas enclenché de manière descendante par l'intervention d'intérêts puissants et structurés, mais de manière plutôt diffuse, la technologie rendant possibles de nouvelles pratiques qui, en se généralisant, pourraient elles-mêmes sous-tendre des effets systémiques (Rumpala, 2013). Quelques acteurs au sein d'agences gouvernementales (ANR, ADEME) ainsi que l'AFHYPAC ont impulsé le développement de la filière. Les régions se sont ensuite approprié les technologies et ont proposé des projets structurants, notamment dans le cadre de l'appel à projets « Territoires hydrogène », incitant à l'époque le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) à se saisir du sujet. Un plan national a ensuite été élaboré (MTES, 2018), plus consolidateur et facilitateur qu'initiateur. Les technologies de l'hydrogène doivent aussi une large part de leur développement à des collaborations en réseaux, qui permettent d'échanger et de partager les idées, et de comparer les expériences réalisées grâce aux avancées dans le domaine énergétique. Dans cette forme d'espace collaboratif, la capacité à montrer des réalisations, telles que les démonstrateurs, joue un rôle important. Aussi, les projets en expérimentation au niveau des territoires permettent de montrer plus concrètement des possibilités et de donner une crédibilité aux pratiques s'appuyant sur les technologies de l'hydrogène (Ngounou Takam, 2021).

**Une filière hydrogène qui se consolide** - Cependant, même si hydrogène semble être un vecteur prometteur de la transition énergétique, l'hydrogène renouvelable est très cher par rapport aux énergies carbonées et ne pourra se déployer qu'à la condition de réduire les coûts sur l'ensemble de la chaîne de valeur, à commencer par le coût de production de l'électricité renouvelable (solaire, éolien) mais également celui des électrolyseurs ou des piles à combustible. A titre d'exemple, en matière de volume, de rentabilité et d'intérêt écologique, à condition que l'hydrogène soit renouvelable, l'industrie lourde constitue le premier potentiel des nouveaux usages de l'hydrogène, mais force est de constater que les entreprises ne sont pas prêtes à payer un gaz « vert » actuellement plusieurs fois plus cher que le « gris »<sup>23</sup>. C'est ainsi que, même si l'hydrogène suscite un engouement politique et industriel fort, ceci ne doit pas occulter le fait que l'hydrogène décarboné présentera encore un coût élevé à l'horizon 2030 par rapport à son équivalent « gris » ou par rapport à d'autres énergies, ce qui implique un soutien public à long terme de la filière (Comité de prospective de la CRE, Juin 2021; Damette, Cremel, Demaie, & Lemoine, 2020; Papon, 2020). C'est ainsi que l'Etat intervient sur le développement des technologies hydrogène qui sont à forte intensité technologique, pour partager avec les acteurs économiques les risques liés à l'innovation de rupture<sup>24</sup>. Finalement, c'est bien le développement des énergies renouvelables et la nécessité critique de s'attaquer au réchauffement climatique qui ont relancé le débat sur « l'énergie hydrogène » ces dernières années (Damette, Cremel, Demaie, & Lemoine, 2020).

---

<sup>22</sup> Le programme "TÉTHYS" est porté par la Maison de la recherche en sciences humaines Caen Normandie et la Maison des sciences de l'Homme de Dijon en association avec Le Dôme, l'Ecole Polytechnique de Nantes et l'Université Nice Sophia Antipolis. Il est soutenu par l'Agence nationale de la recherche.

<sup>23</sup> Les entretiens tenus avec des industriels et des pôles de compétitivité lors de la présente étude vont aussi dans ce sens.

<sup>24</sup> Une innovation de rupture est une innovation souvent technologique portant sur un produit ou un service et qui finit par remplacer une technologie dominante sur un marché. Elle fait naître une nouvelle catégorie de produit ou service qui n'existait pas. Exemples : la photographie numérique, le MP3, les capsules de café, etc. (Source : <https://bpifrance-creation.fr/innovation-rupture>).

## 2.4 Les enjeux de sécurité associés à l'hydrogène

Tel qu'annoncé depuis plusieurs années par l'Ineris (INERIS, 2019; INERIS, 2016; INERIS, 2020; ADEME, 2015; Debray, Weinberger, & INERIS, 2021; INERIS, 2014; Carcaly, 2021) et rappelé récemment dans le rapport de 2021 de la Commission de Régulation de l'Énergie « Le vecteur hydrogène à horizon 2030 » (Comité de prospective de la CRE, Juin 2021), le développement de l'hydrogène doit impérativement s'accompagner de la prise en compte des enjeux de sécurité, afin de prévenir des accidents qui pourraient mettre en danger des vies humaines et réduire fortement l'acceptabilité sociale de ce vecteur énergétique. En effet, les caractéristiques physico-chimiques de l'hydrogène en font un gaz non dénué de danger pour les êtres humains, puisqu'il est extrêmement inflammable et imperceptible aux sens, étant incolore, inodore et insipide (Jaguenaud, 2021). Que ce soit pour des industries aux procédés éprouvés ou pour des applications nouvelles comme la mobilité, les dangers liés aux propriétés physico-chimiques de l'hydrogène restent inchangés. C'est pourquoi la DGPR a lancé un travail visant à adapter la réglementation aux nouveaux usages envisagés pour l'hydrogène.

### 2.4.1 L'accidentologie liée à l'hydrogène

Les trois plus gros accidents récents en lien avec l'usage d'hydrogène comme vecteur énergétique se sont produits en Corée du Sud, en Norvège et aux USA. 377 événements associés à l'hydrogène, dont 251 en France, ont été recensés dans la base Aria<sup>25</sup> du Bureau d'analyse des risques et pollutions industriels (BARPI), toutes industries confondues (Vaysse, 2021).

**Les principaux accidents** - En mai 2019, l'explosion d'un réservoir de stockage à hydrogène d'un centre de recherche gouvernemental en Corée du Sud a causé la mort de deux personnes et blessé six autres, détruisant un complexe de la taille de la moitié d'un terrain de football (Aria n° 53902). Les premières investigations indiquent que l'explosion serait survenue au niveau d'un des trois réservoirs d'hydrogène utilisé par cette entreprise, alors que des essais étaient en cours. La cause serait l'injection par l'électrolyseur d'un mélange H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> dans le réservoir. Cet accident a entraîné dans le pays des mouvements de protestation de résidents contre les usines d'hydrogène.

En juin 2019 à Santa Clara aux États-Unis, une explosion, suivie d'un incendie, se produit dans une entreprise de production et de stockage d'hydrogène (Aria n° 53903). À leur arrivée, les pompiers constatent plusieurs camions stationnés en feu susceptibles de contenir de l'hydrogène liquide (citernes) ou gazeux (bouteilles). Ils demandent que le quartier soit évacué ou que les personnes se confinent à leur domicile. Aucune infrastructure extérieure au site industriel n'est atteinte. Les pompiers utilisent des caméras thermiques et effectuent des prélèvements d'air afin de s'assurer qu'il n'y a plus de fuite d'hydrogène. Le poste d'emplissage est détruit. L'exploitant met hors de circulation sa flotte de camions de même technologie pour inspection. Le non-approvisionnement des stations-service à hydrogène alentour impacte 1 000 utilisateurs de voitures à hydrogène. Des employés du site indiquent que l'explosion est survenue alors qu'une fuite d'hydrogène s'était produite lors du remplissage d'une remorque porte-tubes d'un camion utilisé pour ravitailler les stations-service d'hydrogène.

L'explosion en juin 2019 d'une station-service d'hydrogène en Norvège a entraîné la suspension provisoire de la vente de véhicules à hydrogène par Toyota et Hyundai et la fermeture provisoire des autres stations-service (Aria n° 53772). Une explosion et un incendie se sont produits dans le compartiment technique d'une station-service de distribution d'hydrogène ouverte en 2016. L'hydrogène est produit sur place via un électrolyseur. Le ravitaillement en hydrogène est arrêté dans le pays. Les constructeurs de véhicules à hydrogène mettent en attente la livraison de véhicules neufs. Les stations du constructeur, qu'elles soient de même technologie ou non, sont provisoirement arrêtées durant le temps de l'enquête en Europe, aux États-Unis et en Corée du Sud. Après 17 jours d'enquête, l'exploitant identifie la fuite d'hydrogène au niveau de l'unité de stockage d'hydrogène à haute pression (réservoirs cylindriques sous pression à 950 bars). Un couple de serrage insuffisant sur les vis de la bague située entre la bride du raccord et l'une des bouteilles a engendré une fuite. Le nuage d'hydrogène et d'air, hautement explosif, a explosé et pris feu en plein air (aucun équipement/capacité n'a explosé).

---

<sup>25</sup> La base de données ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) répertorie les incidents, accidents ou presque accidents qui ont porté, ou auraient pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publiques ou à l'environnement (Source : <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/le-barpi/la-base-de-donnees-aria/>).

**L'accidentologie en France** - Concernant les procédés industriels, 377 événements (français ou étrangers) impliquant de l'hydrogène (produit ou généré accidentellement) sont recensés dans la base ARIA. 72 % des phénomènes engendrés sont des incendies et/ou explosions. 28 % concernent des fuites d'hydrogène non enflammées ou des contraintes engendrées par l'hydrogène sur les matériaux, sans conséquence humaine. Les incendies et/ou explosions sont quant à eux souvent associés à des conséquences humaines. Ces phénomènes ont été identifiés dans 158 événements parmi les 251 événements répertoriés en France. 7 d'entre eux ont causé la mort d'au moins une personne et 46 des blessés depuis 1921 (Vaysse, 2021). Il ressort de l'entretien mené avec le BARPI dans le cadre de cette étude qu'aucun mort n'est à déplorer ces dernières années. Enfin, il ressort de l'échange mené avec le BEA-RI<sup>26</sup> que cette nouvelle instance n'a pas ouvert d'enquêtes à ce jour concernant un accident ayant mis en cause de l'hydrogène.

## 2.4.2 Les risques en termes de sécurité et les événements redoutés

L'hydrogène possède plusieurs caractéristiques qui présentent des risques en termes de sécurité :

**Facilité de diffusion de l'hydrogène** - La petite taille de la molécule d'hydrogène et la faible viscosité de ce gaz lui permettent de circuler à travers des ouvertures de taille extrêmement faible. Le risque de fuite est donc plus élevé avec l'hydrogène qu'avec la plupart des autres gaz. De ce point de vue, l'hydrogène n'est comparable qu'à l'Hélium, gaz non inflammable, qui est d'ailleurs souvent utilisé pour tester sans risque l'étanchéité des installations destinées à contenir de l'hydrogène. Il faut donc s'attendre à ce que le débit volumique de fuite soit plus important que celui de combustibles traditionnels, toutes choses égales par ailleurs (débit de fuite environ trois fois supérieur à celui du propane par exemple).

**Gaz léger** - L'hydrogène est un gaz léger qui est 15 fois moins lourd que l'air. Le fait d'être beaucoup plus léger que l'air et de ce fait de diffuser rapidement est un élément très favorable à la sécurité de son utilisation en espace non confiné. Sa faible densité à des température et pression normales devient un inconvénient pour son transport dans la mesure où elle impose, soit une mise en pression, soit une liquéfaction ou l'absorption dans des hydrures, les trois techniques pénalisant la dépense énergétique qui accompagne son utilisation.

**Perméation à travers les matériaux** - Les propriétés particulières de l'hydrogène lui permettent, dans certains cas, de traverser certains matériaux par perméation<sup>27</sup>, notamment un certain nombre de matériaux polymères. La raison de cette diffusion est la différence de concentration ou de pression partielle de l'hydrogène entre les parois du matériau.

**Fragilisation de certains matériaux métalliques** - Il s'agit de la propension des atomes d'hydrogène à pénétrer dans certains alliages métalliques, endommageant la structure cristalline, rendant le matériau fragile et accélérant la propagation des microfissures notamment sous contrainte. Ce phénomène peut aller jusqu'à provoquer des ruptures brutales du matériau bien en dessous de sa limite de rupture en l'absence d'hydrogène (voir figure 2).



Figure 2 : Exemples de fragilisation : Fissuration sous hydrogène (à gauche) et cloquage par l'hydrogène (à droite)

---

<sup>26</sup> Le Bureau d'enquêtes et d'analyses sur les risques industriels est une instance créée par arrêté le 9 décembre 2020 par madame la Ministre de la transition écologique, de compétence nationale, au sein de l'administration centrale mais indépendant et placé sous l'égide du Conseil général de l'environnement et du développement durable.

<sup>27</sup> Définition de perméation : Pénétration d'un perméat (liquide, gaz ou vapeur) à travers un solide.

**Energie minimale d'inflammation** - L'énergie d'inflammation de l'hydrogène varie en fonction de sa concentration dans l'air. L'énergie minimale d'inflammation est de 17  $\mu\text{J}$ , dans les proportions stœchiométriques à 29,5% dans l'air, soit plus de 10 fois inférieure à celle du Propane (260  $\mu\text{J}$ ) ou du gaz naturel (290  $\mu\text{J}$ ), et son domaine inflammable est très étendu (de 4% à 75% en volume). La probabilité d'inflammation de l'hydrogène dans l'air est donc très grande, même si des précautions sont prises pour éviter toute flamme ou étincelle à proximité de la zone à risque. Selon une étude portant sur l'analyse de 409 accidents ou incidents, seules 10 % des fuites n'ont pas donné lieu à une inflammation (Zalosh & Short, 1978).

**Domaine d'explosivité** - Il faut noter que le domaine d'explosivité est très étendu (de 4% à 75% en volume). Il peut varier en fonction de la température et de la pression. A pression constante, il croît avec la température. Sinon, il suit les variations de la pression pour des mélanges  $\text{H}_2/\text{Air}$ . Dans le domaine d'explosivité, une déflagration peut se produire. Dans ce cas, le front de flamme se déplace à vitesse subsonique. Les gaz frais sont comprimés par l'expansion du volume (effet piston). Il en résulte donc une augmentation continue de la surpression. La plage de détonabilité de l'hydrogène varie en fonction de la géométrie du confinement, de l'énergie d'inflammation et du ratio du mélange.

La littérature fournit des exemples de détonations se produisant avec des proportions de 11 %, voire supérieures. La vitesse du front de flamme pendant une détonation est supersonique. Le mélange hydrogène-comburant est comprimé de façon quasi adiabatique, ce qui résulte en la formation d'une onde de choc. La détonation conduit à un danger supplémentaire par rapport à la déflagration du fait des fortes surpressions générées et de la rapidité des variations de pression capables de provoquer des dégâts graves sur les bâtiments et les personnes.

**Caractéristiques spécifiques de la flamme de combustion d'hydrogène** - La flamme de combustion d'hydrogène est très peu éclairante car le rayonnement de l'hydrogène chauffé se situe essentiellement dans le domaine ultra-violet. Le rayonnement le plus visible (de couleur orangée) se situe généralement au niveau de la vapeur d'eau résultant de la combustion. Le cœur de la flamme très chaud (supérieur à 2000°C) est pratiquement invisible en plein jour (cependant, la flamme est bien visible dans l'obscurité). Cette caractéristique constitue un danger supplémentaire, en particulier, pour les équipes d'intervention en cas d'incendie. Cependant, la flamme de combustion d'hydrogène rayonne peu, ce qui limite le risque de propagation par effet thermique du fait du rayonnement par la flamme elle-même. En revanche, les objets qui se trouveraient dans la flamme seraient rapidement portés à une température élevée ce qui peut conduire à des incendies ou des explosions par effets dominos.

L'hydrogène est donc une substance dont la manipulation présente un certain nombre de risques et les trois principaux événements redoutés sont :

- La fuite d'hydrogène en milieu confiné ou non confiné, susceptible de générer un feu torche, une explosion en milieu confiné ou une explosion en milieu non confiné ;
- Une montée en pression à l'intérieur d'un équipement entraînant l'éclatement de cet équipement ;
- La formation d'une atmosphère explosive par mélange d'hydrogène avec un comburant à l'intérieur d'un équipement entraînant une explosion à l'intérieur de l'équipement.

Cependant, l'hydrogène présente aussi des caractéristiques favorables en termes de sécurité. Le faible rayonnement de sa flamme limite fortement le risque de propagation en cas d'incendie, il n'est pas toxique et dans des zones convenablement ventilées, il se dilue quatre fois plus vite dans l'air que le gaz naturel et douze fois plus vite que les vapeurs d'essence, ce qui réduit les risques d'accumulations explosives. Une bonne connaissance des risques et des moyens de les maîtriser doit donc permettre une conception et une mise en œuvre sûres des systèmes utilisant l'hydrogène.

### 2.4.3 Les risques associés aux nouveaux usages de l'hydrogène

L'utilisation décentralisée de l'hydrogène, dans de petites installations fixes ou mobiles avec accès au grand public pose d'autant plus la question de la sécurité (Durville, Gazeau, Nataf, Cueugnet, & Legait, 2015). En effet, les nouveaux systèmes utilisés dans le cadre des nouveaux usages de l'hydrogène détaillés dans la partie 2.2.4 font encore l'objet, à l'heure actuelle, d'études et de recherches à des degrés divers, notamment sur les architectures de sécurité à mettre en œuvre (Comité de prospective de la CRE, Juin 2021). Ces nouveaux usages doivent donc être précédés d'un travail d'analyse des risques et de définition des mesures pour les maîtriser.

De nombreux secteurs industriels, initialement non destinés à la production d'hydrogène, en produisent et doivent maîtriser les risques associés. Il est prévu dans les prochaines années un

déploiement massif d'installations de production ou de stockage d'hydrogène, fixes ou mobiles, de puissance de plus en plus importante. Les infrastructures existantes (ports, gares, aéroports, tunnels, parkings, ateliers de maintenance) sont à adapter pour accueillir les nouvelles technologies de l'hydrogène ou bien ces nouvelles technologies devront être conçues en tenant compte de ces infrastructures existantes. Le déploiement de l'hydrogène pour la mobilité donne lieu à de nouveaux modes de stockage à bord des véhicules. Le déploiement de bateaux à hydrogène dans les eaux intérieures et en mer nécessite d'installer des stations de ravitaillement et de définir des protocoles de remplissage adaptés. L'arrivée attendue des premiers avions à hydrogène dans les aéroports à partir de 2035 nécessite d'assurer la sécurité de la chaîne logistique d'approvisionnement, de stockage et de ravitaillement des avions en hydrogène, puis de leur maintenance. La question d'autoriser les véhicules à hydrogène à circuler dans les tunnels ou à stationner dans un parking souterrain est actuellement expertisée. En effet, il n'existe pas en France de réglementation spécifique sur la circulation de véhicules à hydrogène dans ces ouvrages ; il y a toutefois une recommandation de la Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises (DGSCGC) ne pas faire de remisage des véhicules à hydrogène dans des stationnements souterrains<sup>28</sup>. Par ailleurs, le stockage en cavité saline nécessite d'évaluer les pertes d'hydrogène par diffusion à travers les roches ou les puits d'accès ou encore les interactions, de nature géochimique et biologique entre l'hydrogène et la cavité (INERIS, 2021). La conversion des réseaux de gaz naturel à l'hydrogène (pur ou en mélange dans le gaz naturel) soulève des questions de sécurité : risques de fuite, impact sur l'intégrité des infrastructures, etc.<sup>29</sup> (INERIS, 2019; INERIS, 2020). La question de la fiabilité et de la robustesse des composants, notamment en lien avec la sécurité, se pose aussi, qu'il s'agisse notamment des composants domestiques (brûleur) en cas d'utilisation d'hydrogène pour le chauffage ou des composants des voitures. Leur compatibilité avec l'hydrogène, leur tenue dans le temps ou l'adaptation à un usage non industriel, qui implique des possibilités moindres en termes de maintenance et de tolérance aux erreurs, se pose. Pour améliorer sa densité énergétique volumique et faciliter son transport et son stockage, l'hydrogène devra, dans certaines applications de la mobilité lourde (bateau, avion) être liquéfié à -253°C. La phénoménologie de la dispersion et de l'inflammation de l'hydrogène cryogénique dans ces conditions reste encore mal comprise. Enfin, le stockage de l'hydrogène sous forme solide dans des hydrures métallique est une piste pour le stockage de l'hydrogène (INERIS, 2016).

A ce stade, peu ou pas d'études sont parues sur les risques émergents potentiellement associés aux développements présentés ci-avant. Malgré un retour d'expérience de plus de 10 ans et le déploiement de centaines de stations de recharge d'hydrogène dans le monde, l'accident survenu en Norvège en 2019 (voir partie 2.4.1) a rappelé que la sécurité de ces installations n'était pas encore maîtrisée. En particulier, la fiabilité des protocoles de remplissage et la sûreté de fonctionnement des équipements doivent être garanties, même pour des innovations enviées dans le domaine de l'hydrogène-énergie durable et compétitive. Le cas particulier des stations d'hydrogène liquide doit également être examiné. Le déploiement de la filière hydrogène bas carbone va exposer un nombre grandissant de travailleurs à des risques d'atmosphères explosives (ATEX) liés à l'hydrogène. Les entreprises vont donc devoir savoir faire ou faire faire les analyses de risques et la classification ATEX des zones mettant en œuvre de l'hydrogène (au même titre que pour d'autres gaz). Enfin, la question des moyens d'intervention et de la formation des services de secours qui auront à intervenir sur les incidents ou accidents impliquant de l'hydrogène ne doit pas être négligée. Il est à noter que pour tous ces nouveaux usages, il existe peu de connaissances issues de l'accidentologie.

Enfin, pour l'ensemble des usages de l'hydrogène, un travail doit être mené sur la formation des acteurs de la filière et sur la certification des compétences de la nouvelle main-d'œuvre du secteur de l'hydrogène (Comité de prospective de la CRE, Juin 2021), qu'il s'agisse des techniciens de maintenance (notamment pour les matériels ATEX et équipement sous pression (ESP)), les techniciens d'exploitation, les ingénieurs (conception, réglementation, analyse de risques, ATEX), mais aussi les

---

<sup>28</sup> « Guide pratique relatif à la sécurité incendie dans les parcs de stationnement couverts ouverts au public » de la DGSCGC daté de 2017.

<sup>29</sup> Sur ce sujet, l'INERIS est impliqué dans le projet GHRYD depuis 2014, dont l'objectif est d'étudier le mélange de l'hydrogène avec le méthane et de le tester dans des applications urbaines (maisons, bâtiments et mobilité). L'Ineris a aussi participé au projet JUPITER 1000, qui s'intéressait à la production d'hydrogène pour l'injecter dans le réseau de transport de gaz et à la production de méthane à partir d'émission CO<sub>2</sub> de la zone industrielle de Fos. L'INERIS participe également au réseau européen HISPNET et suit les travaux réalisés sur ce sujet dans le cadre de la normalisation au niveau national et européen.

décideurs publics au niveau des territoires, qui doivent acquérir une connaissance des risques et du cadre réglementaire. La question de la sensibilisation du grand public, utilisateurs cibles, se pose aussi.

Il existe en France un corpus réglementaire sur l'hydrogène<sup>30</sup>, notamment dans le cadre des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Cette réglementation a historiquement été élaborée pour l'utilisation industrielle de l'hydrogène, elle a commencé à être adaptée aux nouveaux usages (rubrique ICPE 1416 et arrêté ministériel associé du 22 octobre 2018). Cette réglementation reste parfois inadaptée à certains nouveaux usages de l'hydrogène. Il faut donc poursuivre l'évolution du cadre réglementaire. C'est pourquoi la DGPR a élaboré conjointement avec France Hydrogène une feuille de route en 2021 pour disposer d'une vision commune sur les projets en développement et identifier les éléments attendus de la part de la profession pour pouvoir faire évoluer la réglementation (Ministère de la transition écologique - DGPR & France hydrogène, 2021). Aujourd'hui, les promoteurs d'expérimentations et de démonstrateurs peuvent être amenés à faire des demandes de dérogation

Si les risques de l'hydrogène pour des usages industriels non énergétiques sont connus et globalement maîtrisés, l'extension de l'utilisation de l'hydrogène à de nouveaux usages nécessite encore des travaux d'ampleur d'analyse et d'évaluation des risques, de définition des exigences de sécurité des systèmes de sécurité pour chaque nouvel usage, d'amélioration de la fiabilité et de la robustesse des composants, de formation des acteurs et enfin d'évolution du cadre réglementaire et normatif.

## 2.5 La gouvernance des risques

La gouvernance est un concept large et multiforme pour lequel il existe des théories de ce qu'est ou devrait être la gouvernance, mais dont les usages dans la pratique sont variables, mobilisant, sous un même vocable, des choses différentes.

Dans leur article sur l'histoire de l'usage et des définitions du concept de gouvernance, Lacroix et St-Arnaud (2012) expliquent que l'apparition d'une logique de la gouvernance serait le résultat d'un bouleversement dans les rapports entre le politique, l'économique et la société civile du fait de la remise en question de l'État-providence et du phénomène de mondialisation, qui interrogent les capacités étatiques et gouvernementales à réguler les sociétés. Ainsi, « *Les propositions de la gouvernance ouvrent à la négociation, à la coopération et aux partenariats qui accroissent la participation de nombreux acteurs différents et diffusent la responsabilisation de la régulation sur cet ensemble large diminuant par le fait même l'intensité de la responsabilité étatique* » (p. 21). En effet, selon Rosenau (1992), cité par Lavelle (2007, p. 161) : « *Gouvernance n'est pas synonyme de gouvernement. Les deux notions se réfèrent à des comportements exprimant une volonté, à des activités guidées par un but, à des systèmes de règles. Mais l'idée de gouvernement implique une autorité officielle, dotée de capacités de police garantissant la bonne exécution de la politique adoptée. La gouvernance, elle, couvre des activités sous-tendues par des objectifs communs ; ces objectifs peuvent s'inscrire ou non dans des mécanismes légaux et formels de responsabilité, ils ne requièrent pas nécessairement des pouvoirs de police pour surmonter les méfiances et obtenir l'application de la norme. En d'autres mots, la gouvernance est un phénomène plus large que le gouvernement. Elle inclut les mécanismes gouvernementaux, dans le sens strict du terme, mais elle s'étend à des dispositifs informels, non gouvernementaux, par lesquels, au sein de ce cadre, individus et organisations poursuivent leurs propres intérêts. La gouvernance est donc un système de règles reposant tant sur le jeu des relations interpersonnelles que sur des lois et des sanctions explicites.* ». On assiste donc à un déplacement des légitimités de décisions et d'actions des acteurs étatiques vers la société civile, comme si la démocratie représentative n'arrivait plus à combler les attentes de sociétés qui exigent plus d'actions, plus d'imputabilité et plus de participation. La gouvernance peut donc être considérée comme (Létourneau, 2009) : (i) Un appel à plus de transparence, à de l'imputabilité, où on requiert que l'entreprise publique, privée ou mixte rende publiquement des comptes de son action, (ii) Les processus de prises de décision sur des questions d'intérêt public, en faisant référence à une pluralité d'acteurs ou de groupes, hautement variables selon les secteurs, (iii) La prise en compte des phénomènes d'échelle, entre le local et l'international en passant par le municipal, le régional, le provincial et le national. On parle alors de gouvernance multiscale.

Il existe pléthore de définitions de la gouvernance, de nombreux ouvrages proposant une définition opératoire du concept et chaque institution nationale ou internationale (Banque mondiale, Commission

---

<sup>30</sup> Plus de détails sur la réglementation afférente à l'hydrogène seront apportés dans la partie 5.2.2.

européenne, Organisation des Nations Unies, l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques, etc.) ayant sa propre opérationnalisation de ce qu'est la gouvernance<sup>31</sup>. Dans le cadre de cette étude exploratoire, nous nous sommes inspirés de la définition proposée par Lacroix et St-Arnaud (2012) pour proposer la suivante : **La gouvernance est entendue comme un modèle d'élaboration et de mise en œuvre de l'action publique, qui se fonde sur la prise en compte d'une pluralité d'acteurs, sur un processus collectif de négociation qui oriente les décisions et les actions, et de légitimation à travers l'information, la consultation et la participation des citoyens.** Nous avons retenu cette définition car elle correspond à ce que nous souhaitons étudier dans le cadre de la présente étude.

D'un point de vue théorique, la gouvernance renvoie donc à un nouveau modèle d'exercice du pouvoir qui implique une visée de participation publique et une vision décentralisée du pouvoir, celui-ci n'étant plus la prérogative du seul État. Il s'agit donc du pouvoir en réseau impliquant le privé, l'étatique et la société civile, qui tend vers une répartition du pouvoir plus horizontale (Létourneau, 2009). La régulation au sein de la gouvernance se fait par des règles et des processus communs, formels ou informels, par lesquelles les acteurs concernés participent à la décision et à la mise en œuvre des actions publiques. Ces règles et ces processus, comme les décisions qui en découlent, sont le résultat d'une négociation constante entre les multiples acteurs impliqués. Cette négociation, en plus d'orienter les décisions et les actions, facilite le partage de la responsabilité entre l'ensemble des acteurs impliqués, possédant chacun une certaine forme de pouvoir (Lacroix & St-Arnaud, 2012). Le rapport de pouvoir est censé devenir de plus en plus égalitaire entre les différents acteurs. A noter que Khosrokhavar (2001) avance l'idée d'une dépendance de l'État envers ces autres sources d'autorité et de pouvoir. En effet, le transfert de compétences aux collectivités locales rendrait l'État de plus en plus dépendant de celles-ci pour la mise en œuvre de ses politiques.

Comme nous l'avons vu précédemment, la transition énergétique impulse une nouvelle dynamique d'échelles qui se traduit par une décentralisation des pouvoirs politico-administratifs et de certaines productions énergétiques (Rioux-Gobeil, 2021). Ainsi, appliqué au contexte de transition écologique, une bonne gouvernance devrait tendre vers une appropriation sociale de la question énergétique par les citoyens (Dobigny, 2012). Dans les faits, l'idée n'est néanmoins pas d'affirmer que la gouvernance a permis de maximiser les capacités de décision et d'action des citoyens, mais de reconnaître qu'elle a fait entrer de nouveaux acteurs légitimes dans le processus politique en redéfinissant l'échelle spatiale de la prise de décision (Sierra & Lewis, 2009). Il est en effet difficile d'implanter un nouvel outil politique de gouvernance au sein d'un système d'action dont les normes, notamment liées aux relations sociales, sont établies depuis longtemps sur des bases aujourd'hui intégrées comme telles par les acteurs. Car s'il est question de pouvoir dans la gouvernance, il est avant tout question de renégociation des relations sociales à l'œuvre. Or, certains dispositifs de gouvernance, loin de redistribuer le pouvoir, peuvent au contraire participer d'un rétrécissement de la sphère décisionnelle autour de certains acteurs. De plus, un des problèmes assez évidents qui vient avec le concept de gouvernance, c'est le fait que les attributions de responsabilités peuvent ne pas être très claires, et de là peuvent suivre des flottements, hésitations ou actions contradictoires de plusieurs acteurs. Enfin, un mode de gouvernance participatif n'amène pas nécessairement à des résultats plus écologiques (La Branche, 2009). En effet, des analyses empiriques ont montré que, quelle que soit la profondeur ou le type de participation des citoyens, ceci ne garantit en rien des résultats plus ambitieux au niveau énergétique ou environnemental. Une approche top-down peut très bien aboutir à un résultat aussi vertueux sur le plan environnemental qu'un écoquartier élaboré de façon très participative. Les degrés et les formes de participation ne sont donc pas des facteurs explicatifs de la prise en main de la question climatique dans les territoires (La Branche & Bosboeuf, 2017).

Le premier sociologue à instituer le risque comme déterminant des sociétés contemporaines, aussi nommées postindustrielles, fut le sociologue allemand Ulrich Beck dans l'ouvrage intitulé « La Société du risque » (1986) pour qui la production sociale de richesses est systématiquement corrélée à la production sociale de risques. Renn (1998) propose de définir le risque comme « la possibilité qu'une action humaine ou qu'un événement aboutisse à des conséquences qui affectent ce à quoi des personnes accordent une valeur ». Cette définition, quoique pertinente, est très large. En effet, le risque peut être considéré de différentes manières, selon que l'on prend une approche formelle qui peut

---

<sup>31</sup> Voir l'article de Lacroix et St-Arnaud (2012) pour plus de détails sur les différentes définitions.

combiner une perspective technique et économique, une approche sociologique, culturelle ou psychologique des risques.

Pour tenter de saisir la complexité des aléas de l'environnement, les gestionnaires du risque (chercheurs, ingénieurs, techniciens, opérateurs, cadres, concepteurs, responsables politiques, experts, assureurs) ont mis en place des modèles formels de l'évaluation du risque (Leneveu & Laville, 2012). Il s'agit de mettre en place un ensemble d'approches scientifiques qui permettent, du fait de leur rigueur et de leurs structures logiques, d'identifier les risques<sup>32</sup> potentiels, de les représenter aussi fidèlement que possible, d'en évaluer les conséquences et enfin de spécifier les mesures de réduction à mettre en place (Lemarchand, 2017). Le risque d'un point de vue technique est considéré comme résultant de la combinaison d'un aléa (survenue d'un événement accidentel potentiellement dangereux) et des enjeux en présence qui engendrent des dommages, des préjudices, situation désignée sous le terme de vulnérabilité. Cette vulnérabilité détermine les conséquences potentielles de l'accident s'il venait à se réaliser, et elle révèle la capacité de réaction des organisations et des êtres humains à y faire face. L'objectif de ces approches est la maîtrise des risques identifiés. Le risque dans ces approches formelles est considéré comme une réalité objective et indépendante des acteurs qui l'observent (Lemarchand, 2017), ce qui est loin d'être le cas comme nous le démontre l'approche psychologique ou cognitive des risques, qui considère l'évaluation des risques comme une construction ou une représentation mentale qui peut amener à des décisions illogiques voire irrationnelles (Laville & Leneveu, 2014; Leneveu & Laville, 2012).

**Ainsi, deux types de gouvernance coexistent. La première concerne l'impulsion étatique (nationale et européenne) en faveur d'une technologie, ici l'hydrogène, dans un contexte de transition énergétique, qui s'incarne, pour ce qui concerne la France, par une forme de décentralisation orchestrée, c'est-à-dire un niveau d'autonomie plus grand octroyé aux territoires que par le passé, néanmoins piloté par le niveau national. La seconde est la gouvernance des risques (ou de la sécurité), parfois appelée régime de régulation, pilotée par le niveau national et régional pour ce qui concerne la production de réglementation et la vérification de sa bonne application sur le terrain. La gouvernance des risques englobe aussi la prise en compte des risques par les acteurs dans les projets non soumis à une réglementation particulière. La relation entre ces deux types de gouvernance est primordiale du point de vue de la sécurité, notamment la façon dont l'une influence l'autre et vice versa.** Dans le cadre de la présente étude, il s'agit donc de décrire et d'analyser la façon dont les risques et la sécurité sont pris en compte au sein de la gouvernance de l'hydrogène. La présente étude n'a pas pour ambition d'être exhaustive, mais d'apporter des premiers éléments descriptifs et analytiques.

---

<sup>32</sup> Les risques considérés dans le cadre de la présente étude sur l'hydrogène sont ceux détaillés dans la partie 2.4, en lien avec ce qui vient d'être présenté ci-avant.

### 3 Objectifs de l'étude exploratoire

Dans le cadre du contexte exposé ci-avant, l'étude exploratoire s'intéresse à la gouvernance des risques du domaine de l'hydrogène en France. En effet, certaines voix, notamment à l'INERIS ou au CNPP, s'élèvent pour dire que la sécurité n'est pas toujours au centre des réflexions chez certains nouveaux acteurs de la filière dans le domaine de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone (Carcaly, 2021). Ainsi, « les mégaprojets prévus, l'arrivée de nombreux nouveaux acteurs et une utilisation décentralisée, dans de petites installations fixes ou mobiles, par de petites entreprises avec accès au grand public, nécessitent une montée en puissance de la gestion et de la prévention des risques » (Carcaly, 2021, p. 49), comprenant notamment la sensibilisation des nouveaux acteurs aux risques potentiels de ces nouvelles technologies et aux mesures de sécurité correspondantes (Carré, et al., 2020), ainsi qu'un cadre réglementaire adapté.

La présente étude est exploratoire et le choix a été fait, d'une part de ne pas contraindre le scope du point de vue des usages de l'hydrogène, d'autre part d'interroger le plus large panel d'acteurs possible qui ont un lien avec l'hydrogène.

**L'objectif de l'étude est double :**

- **Décrire la gouvernance de l'hydrogène et la manière dont les risques y sont considérés,**
- **Apporter le point de vue des acteurs sur la manière dont la gouvernance fonctionne et la façon dont les risques y sont considérés.**

Pour répondre aux objectifs de l'étude, le recueil de données a pour but de décrire et d'analyser plusieurs éléments constitutifs de la gouvernance des risques de l'hydrogène :

- Le rôle des différents acteurs au sein de la gouvernance,
- Le cadre réglementaire afférent à l'hydrogène et son adéquation aux différents usages de l'hydrogène,
- Les interactions entre les multiples acteurs de la gouvernance des risques pour ce qui concerne l'adaptation de la réglementation et la gestion des projets hydrogène,
- La perception des risques de l'hydrogène et de leur prise en compte par les différents acteurs, incluant le public,
- Le retour d'expérience autour des usages de l'hydrogène.

## 4 Méthodologie

La méthodologie déployée pour répondre aux objectifs de l'étude est une approche qualitative qui comprend une analyse documentaire et des entretiens semi-dirigés<sup>33</sup>.

Des dizaines de références bibliographiques ont été consultées sur les thématiques de l'hydrogène, de la gouvernance, de la gouvernance des risques, de la régulation, de la transition écologique, de la transition énergétique, des énergies renouvelables, de la perception des risques et de l'acceptabilité des risques.

**60 entretiens individuels et collectifs d'une durée d'1h à 1h45** ont été menés à distance en visioconférence entre avril et octobre 2021 (voir tableau 1). Chaque sollicitation pour un entretien était accompagnée de l'envoi par email d'un document décrivant les objectifs de l'étude (voir Annexe 1). Il ne s'agissait pas d'un audit, c'est-à-dire qu'aucun jugement n'a été porté sur ce que les répondants ont pu dire et que nous ne nous sommes pas basés sur un référentiel. Les entretiens n'étaient pas enregistrés. Les répondants étaient informés de la manière dont leur anonymat serait préservé. A des fins éthiques, en aucun cas leurs noms n'apparaissent dans le présent rapport.

Les mêmes questions ont été posées à l'ensemble des acteurs interviewés. Les questions portaient sur :

- La part de l'hydrogène dans leur activité et la manière dont les risques y sont considérés,
- Leur vision sur la prise en compte des risques dans le domaine de l'hydrogène,
- Les spécificités éventuelles de l'hydrogène par rapport à d'autres risques,
- Leurs interactions avec d'autres acteurs sur l'hydrogène et si/comment les risques sont discutés,
- Etc.

**L'échantillon des personnes interrogées par sous-populations d'acteurs (collectivités territoriales, bureaux d'étude, etc.) étant faible, il n'y a aucune velléité de généralisation dans le cadre de cette étude exploratoire.**

Tableau 1 : Présentation des entretiens menés entre avril et octobre 2021 (En italique dans le tableau, l'échange s'est tenu par email).

	Organisation	Fonction
Bureaux d'étude	PSa Consult	Consultant expert en H2 (Analyses de risques ATEX & formation) & animateur du GT réglementation de France hydrogène
	Bureau Veritas	Responsable commercial, chef de projet hydrogène
	CNPP	Directeur Innovation & Développement
	Empreinte Positive	Consultante indépendante en projets durables et innovants
Citoyens	Citoyen pilote d'un projet écosystème hydrogène	Développeur, avec des partenaires, d'un écosystème hydrogène (Eoliennes – électrolyseur – usage mobilité lourde)
Collectivités territoriales & Régions	Auvergne Rhône-Alpes Energies Environnement (Association)	Responsable Mobilités et Commande publique durable Chargée de mission mobilité et conduite du changement
	Métropole Aix-Marseille-Provence	Directrice adjointe, chef de service mutations industrielles et transition énergétique, direction de l'innovation, de l'enseignement supérieur et de la recherche
	Agglomération de Pau	Cheffe de projet hydrogène
	Région Occitanie	Chargée de projets Hydrogène et Territoire
	Ville du Mans – Le Mans Métropole	Vice-présidente, Déléguée à l'Enseignement Supérieur, la Recherche et l'Innovation Responsable du Pôle Patrimoine Roulant

<sup>33</sup> L'entretien semi-dirigé consiste à interroger des personnes sur des thématiques précises, mais de façon non directive.

EPIC	INERIS <sup>34</sup>	Chargé de mission hydrogène
		Responsable d'affaires & d'études et recherche
		Chargé de mission certification
		Responsable d'unité
		Responsable d'affaires & d'études et recherche
ETI	UTAC	Responsable de section PRT/ Project Team Leader
	Idélis	Responsable HSE
	Hynamics Groupe EDF	Responsable QHSE et risques industriels
Grands groupes Industriels	Apsys-Airbus	Key Account Manager
	ENGIE	Directeur technique d'Hypulsion
	Air Liquid	International Senior Expert
	Transdev	Responsable transition énergétique France
		Directeur maintenance France
ONG	NégaWatt	Porte-parole
Org. Prof.	France Hydrogène	Responsable relations avec territoires
		Chargé de mission
		Chargé de mission
PME-PMI	Pragma Industries	COO
		Ingénieure
		Responsable développement écosystèmes
	Taxy Hype	COO Hydrogen infrastructure
Pôle de compétitivité	Axelera	Chargé de projets et innovation Usine éco-efficente
		Chargée de projets européens
	Tenerrdis	Déléguée Générale, Déléguée territoriale France Hydrogène
	CARA	Directeur Axe Innovation, Déléguée territoriale adjoint France Hydrogène
	Capenergies	Directrice Générale, Déléguée territoriale France Hydrogène
Puissance publique	Secrétariat général pour l'investissement	Secrétaire du Conseil national de l'hydrogène et coordonnateur de la stratégie nationale hydrogène
	Ministère de la Transition Ecologique (MTE) - Direction Générale de l'Energie et du Climat (DGEC) – Direction Générale (DG)	Chef de projet H2
	Ministère de la Transition Ecologique (MTE) - Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) – Bureau des Risques des Industries de l'Energie et de la Chimie (BRIEC)	Cheffe du bureau
		Adjointe à la cheffe de bureau
	MTE - DGPR – Bureau de la Sécurité des Equipements à Risques et des Réseaux (BSERR)	Adjoint au chef de bureau
	MTE - DGPR – Bureau d'analyse des risques et pollutions industriels (BARPI)	Chargé de mission
MTE - Direction régionale et interdépartementale de	Chargé de mission risques accidentels	

<sup>34</sup> L'INERIS a été considéré par l'auteur de l'étude comme partie-prenante de la gouvernance des risques de l'hydrogène en France, c'est ainsi que six personnes y ont été interviewées.

	l'environnement, de l'aménagement et des transports (DRIEAT) – Département Risques Accidentels – Service Prévention des Risques	Chargée de mission risques accidentels
	MTE - Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) - Service risques	Adjoint cheffe de service, chef bureau risques accidentels
	MTE - DREAL - Service Climat, Energie, Aménagement, Logement	Chargé de missions : prospective, audits énergétiques, bilans de gaz à effet de serre, label bas carbone et hydrogène décarboné
	MTE - DREAL – Unité Départementale (UD)	Inspecteur des installations classée
	Direction départementale des territoires et de la mer (DDTM) - Service Observations, Foncier et Transitions	Chef de l'unité climat-énergie
	<i>MTE - Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD) - Bureau d'Enquête et d'Analyses Risques Industriels (BEA-RI)</i>	<i>Enquêteur</i>
	Ministère de l'Intérieur - Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion de Crise (DGSCGC) – Sous-direction de la préparation, de l'anticipation et de la gestion des crises – Bureau d'analyse et de gestion des risques	Cheffe de bureau Chargé de missions risques industriels
	Ministère de l'Intérieur – DGSCGC – Sous-direction de la doctrine et des ressources humaines – Bureau de la doctrine, de la formation et des équipements	Chef de la section doctrine et techniques professionnelles
	Ministère de l'Intérieur – DGSCGC – Sous-direction des services d'incendie et des acteurs du secours - Bureau de la prévention et de la réglementation incendie	Chargé de mission
	<i>Ministère du travail – Direction générale du travail (DGT) – Bureau des équipements et des lieux de travail (CT3)</i>	<i>Ingénieure de prévention, risque ATEX</i>
	Services Départementaux d'Incendie et de Secours (SDIS) : SDIS35, SDIS56, SDIS76, SDIS77, SDIS86	Conseiller technique de zone de défense en risques chimique Lieutenant chef de groupe, pompier volontaire Chef pôle moyens opérationnels Chef du Service Prévision Départemental, Groupement Analyse des Risques Conseiller Technique Zonal, Service planification et préparation opérationnelle, groupement prévention/opérations, Bureau prévention industrielle Adjoint au chef de groupement prévision et aménagement du territoire, Chef du service risques industriels, Coordonnateur départemental IBNB/ELD
	Ecole Nationale Supérieure des Officiers de Sapeurs-Pompiers (ENSOSP)	Adjoint au chef de la Division des formations aux emplois de spécialités
	Agence de la transition Ecologique (ADEME) - Direction Entreprises et Transitions Industrielles - Service Industrie	Coordinateur du Programme H2
Uni.	Professeur d'université / CNRS	A participé au projet de recherche AIDHY

Les verbatims ont été analysés en suivant la technique de traitement des données par thématiques. Cette technique d'analyse, particulièrement utilisée dans cadre de recherches en sciences humaines et sociales, utilise une procédure systématique et objective de description du contenu des messages et

permet une compréhension du matériel analysé à un niveau différent d'une simple lecture de sens commun.

## 5 Résultats

### 5.1.1 Le rôle des acteurs de la transition énergétique dans le domaine de l'hydrogène

Les acteurs français impliqués dans la transition énergétique sont nombreux et présents à toutes les échelles, de l'Etat jusqu'aux citoyens (INERIS, 2020; Rioux-Gobeil, 2021; Carré, et al., 2020). Ce sont en grande partie ces mêmes acteurs qui sont impliqués dans l'hydrogène (par ordre alphabétique) :

**ADEME** – L'Agence de la transition écologique (ADEME) est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. Sa mission est de conseiller, faciliter et aider au financement de projets engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources. L'ADEME est donc l'opérateur de l'État pour accompagner la transition écologique. Les aides de l'ADEME s'intègrent dans la stratégie nationale de l'Etat et dans le dispositif de soutien du Plan France relance. Elles sont actuellement déclinées à travers deux appels à projets. Le premier est l'appel à projets « Écosystèmes territoriaux hydrogène », qui s'adresse aux entreprises, collectivités, consortiums qui souhaitent investir dans la production et la distribution d'hydrogène décarboné, pour des usages industriels et en mobilité. Il était ouvert jusqu'en septembre 2021. Le second est l'appel à projets « Brique technologique et démonstrateurs hydrogène », qui s'adresse aux entreprises qui conduisent un projet d'innovation. Il vise à développer ou améliorer les composants et systèmes liés à la production et au transport d'hydrogène et à ses usages. Il est ouvert jusqu'en décembre 2022. Une quinzaine de personnes travaillent actuellement sur l'hydrogène à l'ADEME.

**Consultants & bureaux d'études** – Les porteurs de projets hydrogène font souvent appel à des experts consultants ou des bureaux d'études pour les accompagner dans la transition écologique ou énergétique, et/ou pour faire des analyses de risques et/ou donner des formations sur les risques associés à l'hydrogène. Il s'agit autant de petites sociétés de conseil que de multinationales dans le champ du conseil ou de l'ingénierie.

**Citoyens** – Les citoyens peuvent accélérer la transition énergétique en produisant des énergies renouvelables (consomm'acteurs<sup>35</sup>) et en réduisant leur consommation, mais peuvent également « être un frein » s'ils sont réticents au déploiement de la transition énergétique ou qu'ils ne souhaitent pas diminuer leur consommation. En effet, rappelons que la transition vers d'autres sources d'énergie ne va pas toujours de soi et implique une dynamique sociale, qui interroge le rapport à la nature, à la technique et au politique (Evrard, 2014). Pour ce qui concerne l'hydrogène, les citoyens engagés dans la transition énergétique peuvent se lancer à piloter un projet d'écosystème hydrogène, avec l'aide de partenaires extérieurs.

**Etat** – L'Etat régule la transition énergétique à travers des dispositifs réglementaires<sup>36</sup> et des normes, c'est-à-dire qu'il fixe des trajectoires imposées de réduction d'émissions de dioxyde de carbone, forçant ainsi le basculement progressif d'une technologie à une autre. L'Etat lance aussi des appels à projets de recherche et d'innovation. Enfin, il coordonne les stratégies régionales et il est le garant des normes fondamentales et des grands objectifs globaux auprès des collectivités territoriales. Pour ce qui concerne spécifiquement l'hydrogène, l'Etat a développé une stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France et il a mis en place un Conseil national de l'hydrogène (voir parties 2.2 et 2.3.2 pour plus de détails). Pour mettre en œuvre la Stratégie nationale hydrogène, une *task force* interministérielle a été mise en œuvre, animée par le Secrétariat général pour l'investissement, qui regroupe le Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, la Direction Générale de l'énergie et du climat (DGEC), la Direction générale des entreprises (DGE), le Conseil général du développement durable (CGDD), la Direction générale des territoires et de la mer (DGTM), la Direction générale de l'aviation civile (DGAC), Banque publique d'investissement (BPI) et l'ADEME. A noter que la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) n'en fait pas partie. Le coordonnateur de la stratégie nationale hydrogène au sein du Secrétariat général pour l'investissement est aussi le secrétaire du Conseil national de l'hydrogène. Le volet financier de la Stratégie nationale

---

<sup>35</sup> Le consom'acteur est un consommateur qui se réapproprie l'acte de consommation en faisant usage de son pouvoir d'achat pour protéger les valeurs et les causes qu'il défend (Gordon, Bouchard, & Olivier, 2019).

<sup>36</sup> Loi de Transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), Programmation pluri-annuelle de l'énergie (PPE), Stratégie nationale bas carbone (SNRE), Plan national santé environnement (PNSE), Loi portant nouvelle organisation territoriale de la république (NOTRe).

hydrogène est déployé à travers les deux appels à projets ADEME et les mesures d'aides au fonctionnement, complétés par le recours au dispositif européen de projets importants d'intérêt européen commun IPCEI<sup>37</sup>.

**Grands groupes industriels, ETI et PME-PMI** – Un certain nombre d'acteurs privés de taille variée œuvrent à trouver à l'hydrogène des applications concrètes, tout en augmentant son rendement et sa production. Il peut autant s'agir de géants de l'énergie comme EDF ou Air Liquide, de constructeurs automobiles, que de start-ups dédiées aux technologies de l'hydrogène (électrolyseurs, pile à combustible, etc.). Les cadres réglementaires qui s'appliquent à ce type d'acteur sont les textes nationaux et communautaires relatifs au droit de l'environnement et au droit du travail.

**Ministère de l'Intérieur** – Le Ministère de l'intérieur, plus particulièrement la Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises (DGSCGC), est impliqué sur l'hydrogène pour ce qui concerne la réglementation qui a trait aux établissements recevant du public (ERP), la production de doctrine à destination des sapeurs-pompiers et l'appui des sapeurs-pompiers dans le cas d'un accident majeur. La DGSCGC, chargée de la planification et de la gestion des crises et des accidents de la vie courante, apporte son expertise sur la sécurité incendie et les moyens d'intervention des sapeurs-pompiers à la DGPR du Ministère de la Transition écologique sur la réglementation ICPE dans l'objectif d'articuler la prévention et la gestion de crise. Au sein de la DGSCGC, le Bureau de la doctrine, de la formation et des équipements est en charge de la doctrine d'intervention des sapeurs-pompiers. Ce bureau vient de faire paraître un guide de doctrine<sup>38</sup> sur l'intervention des sapeurs-pompiers en présence de gaz, incluant l'hydrogène, dans tout type d'installation. Un autre guide est en préparation sur l'intervention en milieu routier (incluant toutes les technologies de véhicules dont hydrogène, ainsi que les ponts et les tunnels). Ce guide est considéré par la DGSCGC comme une sorte de guide chapeau du guide opérationnel départemental de référence d'interventions d'urgence sur les véhicules, rédigé notamment par le Sdis86. Le bureau de la prévention et de la réglementation incendie de la DGSCGC, quant à lui, va participer à partir de la fin d'année 2021 à l'adaptation et à l'harmonisation des réglementations afférentes au stationnement des véhicules dans des bâtiments à usage professionnel, à usage d'habitation et recevant du public.

**Ministère de la Transition écologique** – La stratégie nationale sur l'hydrogène est notamment déployée par le Ministère de la transition écologique (MTE). Au sein du MTE, la DGEC a pour mission d'élaborer et de mettre en œuvre la politique relative à l'énergie, aux matières premières énergétiques, ainsi qu'à la lutte contre le réchauffement climatique et la pollution atmosphérique. Une mission « Hydrogène », dirigée par un chargé de mission hydrogène de la Direction Générale, propose et met en œuvre les actions relatives au développement de l'hydrogène décarboné et des filières liées. La DGPR, quant à elle, assure le pilotage de l'ensemble des services déconcentrés et détermine les politiques de précaution, de prévention et de protection adaptées, en identifiant notamment les évolutions souhaitables. La DGPR est en charge de l'élaboration ou de l'évolution de la réglementation en tenant compte de la connaissance sur les risques et du retour d'expérience. Elle échange pour cela avec les fédérations professionnelles concernées. Dans ce cadre, elle produit des réglementations, suit leur mise en œuvre et détermine les actions nationales et détermine les actions nationales d'inspection à mener. Au sein de la sous-direction des risques accidentels de la DGPR<sup>39</sup>, plusieurs bureaux ont le sujet hydrogène parmi leur activité. Le bureau des risques des industries de l'énergie et de la chimie (BRIEC) est chargé de l'ensemble des missions relevant de la prévention des risques accidentels dans les installations classées, ainsi que des missions d'encadrement sectoriel d'activités comme l'industrie chimique et pétrolière, les activités de logistique et de stockage, la pyrotechnie et de problématiques émergentes côté énergies et mobilités nouvelles (éolien, véhicule électrique, hydrogène...). Le bureau de la sécurité des équipements à risques et des réseaux (BSERR) s'occupe notamment du transport

---

<sup>37</sup> Le dispositif IPCEI (*Important Project of Common European Interest*) est un mécanisme européen de soutien de la recherche et de l'innovation publié en 2014 par la Commission européenne pour favoriser des projets d'intérêt transnational dans des domaines stratégiques comme le calcul intensif, la voiture autonome, la nanoélectronique ou bien, plus récemment, la batterie électrique.

<sup>38</sup> A noter qu'à l'inverse de la réglementation dont l'ambition est notamment d'empêcher l'accident, les guides de doctrine ont pour objectif d'aider les sapeurs-pompiers à se préparer et à gérer l'accident une fois qu'il a eu lieu. Une nouvelle ligne éditoriale présentée dans le « Vademecum - La doctrine à l'usage des services d'incendie et de secours » paru le 6 juillet 2021, présente le changement de paradigme dans façon d'écrire les guides qui sont dorénavant moins prescriptifs.

<sup>39</sup> La présente étude ayant un angle « risques », nous nous sommes plus focalisés sur les activités de la DGPR que ceux de la DGEC.

par canalisation de l'hydrogène, ainsi que du transport, de la distribution et de l'utilisation du gaz naturel, et également des équipements sous pression. Certains des nouveaux usages de l'hydrogène (Conversion des réseaux de gaz naturel à l'hydrogène, création de réseaux de distribution d'hydrogène par canalisation, etc.) font donc partie du scope de ce bureau. Toujours au sein de la DGPR, le Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels (BARPI) est chargé de rassembler, d'analyser et de diffuser les informations et le retour d'expérience en matière d'accidents industriels et technologiques. Il gère la base de données Aria qui recense des incidents ou accidents résultant essentiellement d'activités d'installations classées en France ou à l'étranger. Le BARPI a récemment publié un article dans « Face au risque » sur l'accidentologie liée à l'hydrogène (Vaysse, 2021). La police des installations classées pour l'environnement (ICPE) ainsi que celle des canalisations à risques est exercée par l'inspection de l'environnement, avec des moyens et services déconcentrés du MTE, hébergés en région et au niveau départemental, principalement au sein des onze Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL/ DRIEAT en Ile-de-France / DEAL en Outre-Mer). Ces services déconcentrés sont généralement organisés avec deux échelons : un échelon régional et un échelon départemental (les unités territoriales). Le BRIEC appuie les DREAL sur les sujets techniques et règlementaire dans le cadre du développement des projets en lien avec l'hydrogène au niveau des territoires et anime un réseau de correspondants « hydrogène » au sein des DREAL, dont le BARPI fait aussi partie. Les évolutions réglementaires liées à l'hydrogène pilotées par le MTE sont présentées dans la partie 5.2.4. Le BSERR appuie également les DREALs dans le développement des projets ayant un maillon « canalisations », notamment via les groupes de travail pluriannuels qui réunissent l'ensemble des inspecteurs chargés de mission « canalisations ». La Mission transport de matières dangereuses (MTMD) est compétente sur la réglementation portant sur le transport des matières dangereuses. Le bureau du sol et du sous-sol (BSSS) est compétent sur le stockage géologique.

**ONG** – Nous ne détaillerons pas ici toutes les actions des ONG dans le cadre de la transition énergétique, mais certaines ont émis un avis sur l'hydrogène, tel NégaWatt qui soutient la conversion de l'hydrogène produit par le méthane (cf. Scénario négaWatt 2017-2050).

**Organisations professionnelles** – France hydrogène est l'organisation professionnelle principale sur l'hydrogène. Sept personnes y travaillent à temps plein. Elle fédère les acteurs de la filière française de l'hydrogène structurés sur l'ensemble de la chaîne de valeur (Grands groupes industriels, PME-PMI et start-ups, laboratoires et centres de recherche, associations, pôles de compétitivités et collectivités territoriales). En Septembre 2021, France hydrogène comptait 341 adhérents, composés de 91 membres d'associations, collectivités territoriales, pôles de compétitivité et groupements divers, 73 membres de grands groupes industriels, institutions financières et ETI, 11 membres industriels utilisateurs et clients finaux, 17 membres d'organismes de recherche, laboratoire universités, écoles et centres techniques et enfin, 149 membres des PME-PMI. L'association française de l'hydrogène (AFH2), créée en 1998, est devenue ensuite AFHYPAC, pour maintenant être nommée France Hydrogène. A noter aussi l'existence d'HySafe (International Association for Hydrogen) au niveau international, dont l'INERIS est membre fondateur.

**Organismes de normalisation** – Au niveau français, l'AFNOR produit et publie des normes qui couvrent en grand partie les questions de sécurité pour les différents briques technologiques de l'hydrogène. Au niveau européen (Comité Européen de Normalisation (CEN), Comité européen de normalisation électrotechnique (CENELEC)) sont produites et publiées des normes qui portent notamment sur l'homologation des véhicules hydrogène, les stations de chargement et l'ATEX.

**Organismes de recherche** – Plusieurs établissements Public à Caractère Industriel et Commercial (EPIC) ou Établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST) travaillent depuis de nombreuses années sur l'hydrogène, tels que le CEA et le CNRS. L'INERIS, qui en tant qu'EPIC fait de la recherche, appuie le MTE et effectue des prestations commerciales, est aussi présent sur la plupart des segments de la chaîne de valeur de l'H<sub>2</sub>, que ce soit la production, le transport par canalisation ou TMD, le stockage, la distribution ou les différents usages de l'hydrogène. L'INERIS se positionne plutôt en amont de développement des technologies de l'hydrogène, dans la sécurisation des systèmes en phases de conception, de démonstration et de premiers déploiements sur les sites et les territoires. Néanmoins, les spécificités de l'hydrogène nécessitent un fort accompagnement aval, en termes de formation, d'aide à l'évaluation des risques et de définition des mesures de mitigation appropriées (INERIS, 2021).

**Pôles de compétitivité** – Ils sont des réseaux d'entreprises, d'unités de recherche et de formation, et d'organismes publics associés à une échelle plus ou moins vaste qui peut aller jusqu'à celle de la région, et labellisés par l'État. Ils se regroupent en général autour d'une thématique précise ou un domaine

d'activité considéré comme porteur ou d'avenir. Plusieurs pôles de compétitivités intègrent dorénavant l'hydrogène dans leurs préoccupations, notamment ceux autour de la transition énergétique, de l'énergie ou de la mobilité.

**Régions & collectivités territoriales** – Les régions sont les chefs d'orchestre de la transition énergétique à travers notamment l'élaboration du SRADDET, le lancement d'appels à projets et le développement de partenariats avec des collectivités, des financeurs et des innovateurs. Les intercommunalités de plus de 20.000 habitants (EPCI) assurent, quant à elles, le déploiement collectif de la transition énergétique en s'appuyant sur le Plan climat air énergie territorial (PCAET) qu'ils élaborent tous les six ans, en cohérence avec SRADDET. Les municipalités, métropoles, communauté d'agglomération<sup>40</sup>, opèrent la transition énergétique en connectant les différents acteurs, en achetant l'énergie, en coordonnant et/ou investissant dans des démonstrateurs. Les Directions départementales des territoires et de la mer (DDTM), service déconcentré de l'Etat officiant auprès du préfet de département dans les domaines des politiques d'aménagement et de développement durables des territoires, sont des relais auprès des collectivités territoriales, notamment les EPCI, pour ce qui concerne la planification stratégique de la transition énergétique, incluant l'hydrogène.

**Secours d'urgence et de protection des populations** – Les services départementaux d'incendie et de secours (SDIS) sont chargés de l'analyse des risques et de la mise en place des moyens de secours au niveau local. Ils organisent aussi l'activité de l'ensemble des centres de sapeurs-pompiers des départements. S'il y a un accident impliquant de l'hydrogène, ce sont les sapeurs-pompiers qui interviennent, appuyés par le Ministère de l'Intérieur en fonction de la gravité de la crise. Un guide de doctrine sur les interventions en milieu routier est en cours de rédaction. Ce dernier traitera de l'ensemble des énergies de propulsion des véhicules dont l'hydrogène. Ce document a pour objectif de compléter la littérature existante produite par la DSCGC et plusieurs SDIS. Les officiers sapeurs-pompiers sont formés à l'Ecole nationale supérieure des officiers de sapeurs-pompiers (ENSOSP). L'ENSOSP coordonne le projet HyResponse, soutenu par un financement Européen FCH JU, qui développe un programme de formation à la fois théorique et opérationnel sur le risque hydrogène pour les applications stationnaires et d'électromobilité. L'ENSOSP dispose d'une plate-forme de formation adaptée pour mettre en situation les apprenants en condition réelles, permettant des études comparées des différents combustibles et des mises en situations spécifiques sur des pressions d'hydrogène gazeux allant jusqu'à 700 bar. Certains SDIS comme celui de la Vienne disposent d'outils ou d'aire de formation des sapeurs-pompiers à la gestion d'un feu de véhicule roulant aux énergies alternatives, incluant l'hydrogène.

## 5.2 Un cadre réglementaire pour soutenir l'hydrogène décarboné tout en maîtrisant les risques

### 5.2.1 La territorialisation de la transition énergétique encouragée par la réglementation

Une prise en main de l'énergie au niveau territorial peut être observée ces dernières années (Lopez, 2019; Rioux-Gobeil, 2021), encouragée par le processus législatif qui organise la territorialisation de la transition énergétique de la manière suivante : La Loi de Transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) s'appuie sur la Loi NOTRe du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République, cette dernière confiant de nouvelles compétences aux régions et aux établissements publics de coopération intercommunale en matière notamment de développement économique et d'aménagement durable du territoire. Pour atteindre les objectifs de lutte contre le dérèglement climatique et de préservation de l'environnement, la LTECV décline des actions à mettre en œuvre, en cohérence avec les politiques régionales et nationales, au sein d'instruments opérationnels à la main des régions et des collectivités. Ces instruments opérationnels sont les documents de planification territoriale tels que les Schémas Régionaux d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires (SRADDET), les Plans Climat-Air-Energie Territoriaux (PCAET), les Schémas de cohérence territoriale (SCOT) et les Plans locaux d'urbanisme intercommunaux (PLUI). Ainsi, **le cadre réglementaire octroie aux régions un rôle névralgique de cadrage et d'animation de la transition énergétique à travers l'élaboration de leur SRADDET. Il donne aussi aux établissements publics**

---

<sup>40</sup> Cadres réglementaires des municipalités, métropoles, communauté d'agglomération : PCAET, Plan Local Urbanisme Intercommunal (PLUi) et Plan local d'habitation (PLH).

**de coopération intercommunale (EPCI) un rôle d'opérateurs et de coordinateurs du déploiement de la transition énergétique (Carré, et al., 2020), puisqu'à cet échelon, peuvent être rassemblés autour de la table différents acteurs provenant de différents domaines et de différents niveaux (gouvernance multiscale).**

## 5.2.2 Une réglementation de l'hydrogène à adapter aux nouveaux usages

L'hydrogène est un sujet transverse qui touche plusieurs corpus réglementaires différents<sup>41</sup>. Dans le domaine de compétence de la DGPR, différentes réglementations peuvent concerner les projets hydrogène :

**Production, stockage, distribution d'hydrogène au titre de la réglementation ICPE** - Plusieurs rubriques ICPE peuvent s'appliquer aux projets utilisant de l'hydrogène en fonction de leurs caractéristiques et de l'état gazeux ou liquide de l'hydrogène, qu'ils soient temporaires ou pérennes.

Pour ce qui concerne la distribution d'Hydrogène gazeux (rubrique ICPE 1416 sous régime de la déclaration avec contrôle (DC) à partir de 2kg / jour), l'intitulé de la rubrique est le suivant : « *Stations-service : installation, ouverte ou non au public, où l'hydrogène gazeux est transféré dans les réservoirs de véhicules, la quantité journalière d'hydrogène distribuée étant supérieure ou égale à 2 kg/ jour.* ». Il existe à ce jour un arrêté ministériel de prescriptions générales associé à cette rubrique pour les véhicules terrestres (arrêté du 22 octobre 2018), qui nécessite à court terme des ajustements pour les mobilités routières et l'ajout de la mobilité ferroviaire, puis d'y intégrer la mobilité fluviale et maritime dans un second temps. Pour ce qui concerne l'hydrogène liquide, l'intitulé de la rubrique ICPE 1414 est le suivant : « *Installation de remplissage ou de distribution de gaz inflammables liquéfiés* », cette rubrique comporte 4 sous-rubriques. Les stations de distribution d'hydrogène liquide peuvent être classées sous le régime de la déclaration avec contrôle dans la sous-rubrique 3 : « *Installations de remplissage de réservoirs alimentant des moteurs ou autres appareils d'utilisation comportant des organes de sécurité (jauges et soupapes)* ». L'arrêté ministériel associé à cette rubrique du 30 août 2010 ne nécessite pas à ce stade d'évolution compte tenu du faible nombre de projets (Ministère de la transition écologique - DGPR & France hydrogène, 2021).

Dans la rubrique 3420 qui concerne la fabrication d'hydrogène (rubrique issue de la directive IED, la directive européenne sur les émissions industrielles), le régime de l'autorisation prévaut dès le premier gramme produit, ce qui semble excessif. L'intitulé de la rubrique est le suivant : « *Fabrication en quantité industrielle par transformation chimique ou biologique de produits chimiques inorganiques, tels que : a) Gaz, tels qu'ammoniac, chlore ou chlorure d'hydrogène, fluor ou fluorure d'hydrogène, oxydes de carbone, composés sulfuriques, oxydes d'azote, hydrogène, dioxyde de soufre, chlorure de carbonyle* ». Une fiche question réponse a été élaborée et mis en ligne pour préciser ce qui est entendu par la notion de quantité industrielle utilisée dans l'intitulé de la rubrique ICPE 3420. En l'occurrence, l'appréciation doit être essentiellement basée sur l'enjeu sur les ressources en eau ou en électricité. Des réflexions sont de plus en cours sur l'introduction éventuelle d'une valeur repère au-delà de laquelle les installations seraient systématiquement classées 3420.

Enfin, le stockage d'hydrogène sous la rubrique ICPE 4715, régime de déclaration ou d'autorisation dont l'intitulé est le suivant : « *La quantité susceptible d'être présente dans l'installation étant : 1. Supérieure ou égale à 1 t -> régime d'autorisation. 2. Supérieure ou égale à 100 kg mais inférieure à 1 t -> régime de déclaration* », un site industriel devient classé Seveso seuil bas à partir de 5 tonnes, et seuil haut à partir de 50 tonnes. Un arrêté ministériel de prescriptions générales (arrêté du 12 février 1998), dérogeable, encadre les sites à déclaration pour la rubrique 4715. Cette réglementation apparaît comme insuffisamment contraignante : le seuil de déclaration est fixé à 100 kg d'hydrogène et donc les petites installations échappent à toute réglementation (en dehors de la réglementation relative aux équipements sous pression, qui encadre les caractéristiques des équipements et impose leur certification par un organisme notifié et un contrôle à leur mise en service). Or des sites hébergeant quelques dizaines de kilogrammes d'hydrogène peuvent être à l'origine d'accidents (Durville, Gazeau, Nataf, Cueugnet, & Legait, 2015).

Les projets temporaires peuvent être de type « démonstrateurs de véhicule hydrogène » ou de type « énergie temporaire » et peuvent relever des rubriques 4715 et 1416, et 3420.

---

<sup>41</sup> Les éléments présentés dans cette partie viennent des échanges tenus lors des entretiens, ainsi que de Durville, Gazeau, Nataf, Cueugnet & Legait (2015).

**Transport d'hydrogène au titre de la réglementation relative au transport de matières dangereuses** - Le transport d'hydrogène en tant que marchandise dangereuse (i.e. non pas lorsqu'il est utilisé comme carburant) est régi par la réglementation internationale relative au transport de marchandises dangereuses (TMD). De plus, cette réglementation s'applique en cas d'utilisation d'un véhicule comme station temporaire de distribution mobile (= sur roues). L'arrêté TMD interdit les opérations de distribution sur les voies ouvertes à la circulation du public. La réglementation TMD interdit également l'utilisation de véhicule hydrogène pour certains transports de matières dangereuses, ce qui devrait évoluer à moyen terme pour le développement de la filière.

**Transport d'hydrogène par canalisation – Transport d'hydrogène 100%** : Le transport par canalisation de l'hydrogène est traité dans la réglementation générale du transport par canalisations (il existe des canalisations de transport d'hydrogène en service depuis de nombreuses années en France). Le développement à venir des canalisations de transport d'hydrogène, localement ou à une échelle plus large, nécessitera le cas échéant des ajustements de la réglementation et des guides professionnels ou méthodologiques sur lesquels elle s'appuie.

*Distribution d'hydrogène 100%* : A l'heure actuelle il n'existe pas de réseaux de distribution d'hydrogène, et a fortiori pas de réglementation encadrant ces réseaux : en effet, toute canalisation à risque transportant de l'hydrogène 100% est une canalisation de transport).

*Injection de l'hydrogène dans les réseaux de transport et distribution de gaz naturel* : Les réseaux de transport et de distribution de gaz naturel sont envisagés comme un vecteur possible de l'hydrogène vers les utilisateurs finaux (usage domestique, commercial, industriel et mobilité). Plusieurs projets de recherche et des démonstrateurs autour de cette voie se sont développés depuis quelques années, et les premiers projets industriels (injection de méthane de synthèse contenant jusqu'à 2% d'hydrogène résiduel) arriveront dans les années qui viennent. Toutefois, à ce jour, hors démonstrateurs, il n'y a pas d'hydrogène circulant dans les réseaux de gaz naturel en France<sup>42</sup> et il n'existe pas dans les textes de définition d'un taux d'hydrogène admissible dans les réseaux de gaz naturel. A la différence du transport par canalisations de l'hydrogène 100%, ce sujet constitue une forme de rupture technologique, qui implique notamment un vaste effort de recherche. De plus, compte-tenu du caractère transfrontalier des canalisations de transport de gaz naturel, ce sujet est actuellement piloté au niveau européen : la Commission européenne a ainsi confié au CEN/CENELEC le pilotage des travaux de normalisation à ce sujet, qui traitent notamment de l'adaptation des réseaux de gaz naturel et des utilisations finales à l'hydrogène, jusqu'à la conversion à 100%, avec l'appui du GERG (réseau regroupant les centres de recherche des opérateurs gaziers européens). Les principaux opérateurs français en transport et distribution de gaz naturel participent activement à ces travaux aux côtés de leurs homologues européens. La réglementation nationale du transport et de la distribution du gaz naturel devra être adaptée à l'hydrogène (depuis l'injection jusqu'à la conversion 100% hydrogène), au vu notamment des résultats de ces travaux, et des adaptations au contexte national.

*Utilisations desservies par les réseaux d'hydrogène et de gaz naturel* : La réglementation de l'utilisation du gaz combustible dans les locaux d'habitation nécessitera d'être adaptée à l'hydrogène.

**Autres usages de l'hydrogène** - Les nouveaux usages de l'hydrogène amènent aussi d'autres ministères (Ministère du travail, Ministère de l'intérieur) à devoir s'assurer de l'adaptation de la réglementation actuelle. L'introduction de systèmes à hydrogène dans divers environnements (par exemple : électrolyseur ou pile à combustible dans les ERP (établissements recevant du public), automobiles dans les parcs de stationnement souterrains, automobiles dans les tunnels, stations de ravitaillement en milieu fortement urbanisé, navires de commerce ou de transport de passagers, etc.) pose des questions de sécurité qui n'ont pas encore de réponse réglementaire totalement adaptée. Pour ce qui concerne les risques dans les ERP, la DGSCGC n'a pas encore élaboré de doctrine générale sur les piles à combustible dans les bâtiments ou véhicules à hydrogène dans les parcs de stationnement souterrains. Cette thématique sera traitée dans un guide sur les constructions à paraître en 2022. L'homologation des véhicules et des composants est prise en charge par la réglementation européenne ((EC) 79/2009 jusqu'en 2022 et R134 à partir de juillet 2022, complété par le règlement d'application 2021/535 qui traite aussi de l'hydrogène liquide<sup>43</sup>), laquelle nécessite d'être complétée à

---

<sup>42</sup> Sauf dans les deux expérimentations GRHYD et JUPITER 1000.

<sup>43</sup> A noter que la mobilité lourde routière est normalement déjà traitée dans ces textes (véhicules de catégorie M2 et N2 et M3 et N3) mais que de l'avis de professionnels la réglementation ne tient pas assez compte des spécificités de la mobilité lourde.

partir de 2022 pour la mobilité lourde, l'hydrogène liquide et la mobilité légère (deux-roues, tricycles et quadricycles).

Concernant la mise sur le marché des équipements pour les applications stationnaires ou mobiles non routières, des directives (DESP, Machine, ATEX, CEM) définissent les exigences essentielles de sécurité et les modalités d'évaluation de la conformité avant mise sur le marché. Certains dispositifs, en particulier les équipements sous pression, doivent faire l'objet d'une certification par un organisme notifié. L'hydrogène dans l'air constitue une atmosphère explosive (ATEX) et la réglementation correspondante est applicable. Les risques d'explosion internes sont cependant encadrés uniquement par la directive Machines et leur maîtrise fait l'objet d'une auto-certification par le constructeur.

La partie ATEX du code du travail, qui s'applique sur les lieux de travail où l'hydrogène est mis en œuvre, nécessite des guides d'application de la réglementation pour définir des scénarios et des bonnes pratiques de référence et faciliter ainsi son application par les nouveaux acteurs de la filière.

Il ressort de l'échange avec la DGT qu'il y a un travail en cours sur l'élaboration d'un guide sur la prévention du risque ATEX, non spécifique à l'hydrogène, dont une version finalisée est prévue d'ici fin 2021, pour transmission auprès des instances des partenaires sociaux en 2022. Ce guide a pour objectif de présenter ce qu'est le risque ATEX, la réglementation applicable, la démarche de prévention à suivre et les règles à respecter lors d'intervention en zone ATEX.

### 5.2.3 Etat d'avancement de l'adaptation de la réglementation de l'hydrogène

**Le constat est que la réglementation sur l'hydrogène existe, mais qu'elle n'est pas toujours adaptée et qu'il faut la faire évoluer** (Durville, Gazeau, Nataf, Cueugnet, & Legait, 2015). Malgré la publication d'arrêtés spécifiques depuis ce constat de 2015 (notamment sur la distribution d'hydrogène), il semble y avoir consensus parmi les acteurs de la filière pour considérer que la réglementation doit encore être adaptée, y compris ces textes récents dont la mise en œuvre a révélé les insuffisances ou les difficultés d'application. En effet, tous les porteurs de projets hydrogène interviewés dans le cadre de la présente étude, qu'ils soient privés ou publics (industriels, ETI, PME et collectivités territoriales) ont exprimé un besoin fort d'adaptation du cadre réglementaire sur l'hydrogène. Ce constat est partagé par la puissance publique, comme en atteste l'adaptation réglementaire en cours animée par le MTE. L'adaptation de la réglementation pour y intégrer les nouveaux usages de l'hydrogène doit se faire, du point de vue de la puissance publique, en appliquant le principe de non-régression en matière de prise en compte de la sécurité. Ceci semble d'autant plus important que, pour certains porteurs de projet, la sécurité est égale ou synonyme à la réglementation. Dit autrement, suivre la réglementation suffirait, de leur point de vue, à gérer la sécurité<sup>44</sup>.

La DGEC pilote en propre l'adaptation réglementaire qui a trait à l'homologation des véhicules et qui s'intéresse à l'hydrogène en tant que sujet énergétique (ex : définitions de l'hydrogène renouvelable, de l'hydrogène bas carbone). L'encadrement réglementaire des activités industrielles relevant de la nomenclature ICPE est l'affaire de la DGPR, en particulier du BRIEC, et l'utilisation de technologies hydrogène dans les tunnels est gérée par la Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM). Le Ministère de l'intérieur, en particulier la DGSCSC, pilote l'adaptation réglementaire des ERP (incluant le stationnement dans les bâtiments accueillant du public) et le Ministère du travail, en particulier la DGT, pilote la réglementation ATEX et celle afférente au stationnement dans les bâtiments accueillant des salariés.

La mise à jour de la réglementation ICPE sur l'hydrogène s'effectue sous l'impulsion de la DGPR (BRIEC), sur la base des informations remontées par les DREAL de l'implantation de projets hydrogène au niveau des territoires, conseillée par l'INERIS sur le plan technique et en associant les professionnels de la filière, à travers notamment l'association France Hydrogène (voir figure 3). Pour ce qui concerne le stationnement des véhicules à hydrogène dans des parcs de stationnement, une réflexion va être engagée en fin d'année 2021 entre la DGSCGC la DGT et la Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages (DHUP) dont l'objectif sera d'adapter et d'harmoniser les réglementations afférentes au stationnement des véhicules dans des bâtiments à usage professionnel, à usage d'habitation et recevant du public. Enfin, à noter qu'un guide pour l'évaluation de la conformité et la certification des

---

<sup>44</sup> Le retour d'expérience des grands accidents industriels et les recherches du monde académiques depuis plusieurs décennies ont démontré que suivre la réglementation est une condition nécessaire, mais non suffisante, pour atteindre un haut niveau de sécurité (Le Coze, et al., 2017).

systèmes à hydrogène, rédigé par l'INERIS avec le soutien financier et technique de l'ADEME et de France Hydrogène, est paru en 2021 (Debray, Weinberger, & INERIS, 2021). Il a pour objectif d'aider les acteurs de la filière hydrogène, qu'ils soient fabricants ou utilisateurs, à identifier les procédures d'évaluation de la conformité et de certification, relatives à la sécurité, qui s'appliquent aux composants et systèmes à hydrogène en vue de leur mise sur le marché. Il permet aussi d'identifier les référentiels réglementaires ou normatifs dont ils relèvent en matière de sécurité. Enfin, l'objectif de la DGEC est de s'assurer que les contacts sont bien établis entre la filière et l'administration pour que l'adaptation de la réglementation soit menée à bien et à ce titre, échange régulièrement avec la DGPR et les associations professionnelles, incluant France hydrogène.

Lors des entretiens, la DGPR a expliqué que les interactions fortes avec les DREAL, l'INERIS et France Hydrogène ont notamment pour objectif d'atteindre le bon niveau de prescription qui permettra de soutenir le développement de la filière, tout en garantissant un haut niveau de sécurité.

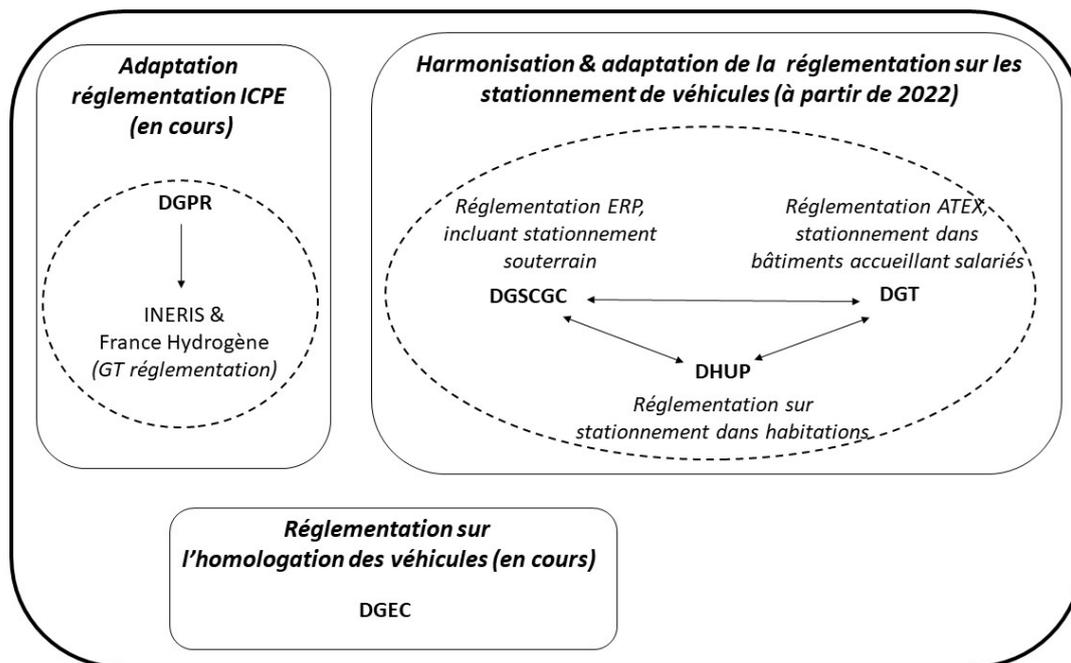


Figure 3 : Représentation schématique du pilotage des principaux travaux en cours de l'adaptation réglementaire sur l'hydrogène portant sur les risques.

France Hydrogène s'est organisé en interne pour pouvoir être auprès du MTE et des autres ministères, un interlocuteur force de propositions sur l'évolution du cadre réglementaire. Outre la publication d'un rapport avec la participation de l'Ademe en 2010 sur « Pourquoi une réglementation adaptée à l'hydrogène-énergie ? », France Hydrogène a mis en place un Groupe de Travail (GT) réglementation<sup>45</sup>, dont l'objectif principal est de remonter auprès de la DGPR des propositions faisant consensus chez les porteurs de projets membres de France hydrogène en matière d'évolution réglementaire. Pour des modifications mineures de la réglementation, France hydrogène justifie ses propositions sur la base du retour d'expérience venant de ses membres. Pour justifier sa proposition de modification majeure concernant les distances d'isolement réglementaires définies dans l'arrêté associé à la rubrique 1416, France hydrogène a transmis une analyse des risques commanditée à un bureau d'étude.

Les échanges entre la DGPR et France hydrogène ont débouché sur la co-rédaction d'une feuille de route qui a été présentée au Conseil national de l'hydrogène, qui porte sur les évolutions nécessaires du cadre réglementaire pour accompagner le déploiement en sécurité de l'hydrogène (Ministère de la transition écologique - DGPR & France hydrogène, 2021). Ce travail a permis à la DGPR et à France hydrogène de disposer d'une vision commune sur les projets en cours d'étude et de développement au niveau national et les niveaux de priorité associés aux différents sujets, ainsi que d'identifier les éléments attendus de la part de la profession pour pouvoir faire évoluer la réglementation.

<sup>45</sup> En 2017 l'Afhyac avait créé un GT « Sécurité H2 », dont l'intitulé a été changé en 2018 pour devenir GT « réglementation ».

Les échanges entre la DGPR et France hydrogène sur l'adaptation réglementaire sont considérés comme positifs par les personnes interrogées.

### 5.3 Les interactions entre les différents acteurs sur la maîtrise des risques au sein des « projets hydrogène »

#### 5.3.1 Focus sur les interactions de la DGPR avec les autres acteurs

Il ressort des entretiens menés que la DGPR (BRIEC, BSERR) a des interactions avec un certain nombre d'acteurs publics/privés sur l'hydrogène et la maîtrise des risques (voir figure 4). Comme nous l'avons vu dans la partie précédente, le BRIEC a des échanges soutenus avec France hydrogène et l'INERIS sur les évolutions à apporter à la réglementation afférente à l'hydrogène. Ce bureau a aussi des échanges avec quelques industriels directement, en plus de l'INERIS, sur des EDD génériques qui serviront de base pour faire évoluer la réglementation. Le BSERR, quant à lui, a des échanges avec les industriels (Distributeurs de gaz : GRDF et quelques entreprises locales de distribution (ELD) ; transporteurs : Air Liquide, TEREGA et GRTGaz), en particulier sur la maîtrise des risques associés à l'injection d'hydrogène dans les canalisations de gaz naturel en service. La DGPR a aussi en tant que de besoin des échanges avec la DGSCGC, qui a elle-même des échanges avec les SDIS, dans l'objectif de bien articuler la prévention et la gestion de crise.

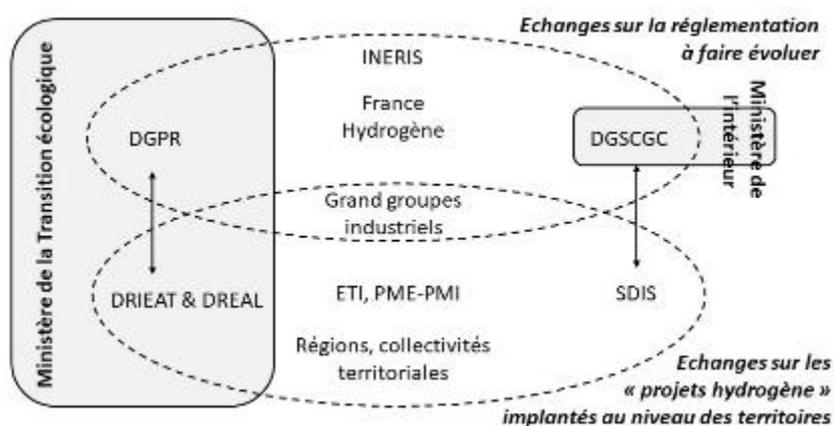


Figure 4 : Représentation schématique des interactions de la DGPR et des DRIEAT/DREAL avec différents acteurs publics/privés sur la maîtrise des risques afférents à l'hydrogène.

Pour ce qui concerne la DRIEAT et les DREAL, nous reprenons ici les éléments issus des entretiens menés avec deux chargés de mission risques accidentels de la DRIEAT et plusieurs personnes occupant des fonctions diverses au sein d'une DREAL : l'adjoint risques accidentels de la cheffe de service risques, le chargé de « missions prospective, audits énergétiques, bilans de gaz à effet de serre, label bas carbone et hydrogène décarboné » au sein du service Climat, Energie, Aménagement, Logement et un inspecteur des installations classées d'une unité départementale (UD). Dans le cas de cette DREAL, le sujet hydrogène concerne plusieurs services. Le service Climat, Energie, Aménagement, Logement est le point d'entrée de la DREAL pour tout sujet concernant l'hydrogène. Ce service participe au comité régional partenaire sur l'hydrogène<sup>46</sup>, auquel France hydrogène participe aussi. Tous les « projets hydrogène » y sont présentés, ainsi que les évolutions réglementaires et les appels à projet. Il ressort des entretiens que les risques n'y sont pas ou peu discutés. Une autre façon pour cette DREAL de se tenir au courant des différents « projets hydrogène » est la participation chaque semaine des chefs d'UD au CODIR de la Préfecture, ce qui leur permet de prendre connaissance de tous les sujets sur leur territoire, incluant les « projets hydrogène » (hors installations classées). Le service risques de la DREAL est, quant à lui, sollicité par des bureaux d'étude mandatés par les porteurs de « projets hydrogène » pour participer à des réunions techniques sur ces projets. C'est par ce biais que la DREAL interagit avec des porteurs de projets, qu'ils soient privés, publics ou des citoyens

<sup>46</sup> La région dont il est question a fait une étude sur les attentes en matière d'hydrogène, qui a donné lieu à une feuille de route en 2020. C'est dans ce cadre que le COPART a été mis en place. Il rassemble tous les acteurs régionaux de l'hydrogène et se réunit une à deux fois par an.

engagés dans la transition énergétique. L'objectif de ces réunions est généralement, pour les porteurs de projet, de présenter le projet quel que soit son niveau d'avancement, et pour les DREAL, de questionner la maîtrise des risques. Au vu du niveau d'avancement du déploiement de la filière hydrogène, les interactions entre les DREAL et les porteurs de « projets hydrogène » ne concernent pas encore l'instruction d'EDD à proprement parler ou des inspections dédiées au vecteur hydrogène. Enfin, il est à noter qu'absolument tous les porteurs de « projets hydrogène » interviewés ont souligné la disponibilité des DREAL pour ces échanges et la qualité de leurs retours. Les DREAL sont même considérées par certains répondants comme des garde-fous ou comme celles qui amènent le principe de réalité à certains porteurs de projets qui ne réalisent pas toujours que leur projet tombe sous le coup de la réglementation ICPE et devra être soumis à autorisation. **Les différents canaux d'information listés ci-avant (figure 4) permettent à la DREAL de se tenir informée d'un maximum de « projets hydrogène » et de faire remonter les informations à la DGPR via le correspondant hydrogène ou de faire circuler l'information aux SDIS, avec lesquels la DREAL entretient de très bonnes relations presque quotidiennes, que celles-ci soient formelles ou informelles**<sup>47</sup>.

**L'expertise des DREAL sur la maîtrise des risques et les réglementations afférentes, ainsi que les échanges entre les porteurs de projet et les DREAL semblent primordiaux pour la maîtrise des risques au sein du déploiement de la filière hydrogène**<sup>48</sup>. En effet, la complexité et la superposition des réglementations applicables aux systèmes à hydrogène (ICPE, équipements sous pression, canalisations à risques, réglementation ATEX...) rendent d'autant plus nécessaire l'accompagnement des différents porteurs de « projets hydrogène » (Carcaly, 2021). Il ressort toutefois des entretiens qu'à l'heure actuelle, les services déconcentrés de l'Etat apprécieraient d'être mis au courant de manière plus proactive des différents « projets hydrogène », que ceux-ci soient pilotés par des porteurs privés ou publics. **La question se pose néanmoins de la capacité d'absorption des DREAL, au vu de leurs effectifs et de leur charge de travail actuels, des multiples demandes qu'elles pourraient recevoir dans un contexte de massification des projets hydrogène au niveau de tout le territoire français, ceci d'autant que ce travail d'information sur la réglementation ne relève pas des missions des DREAL. Ce constat pose également question sur l'implication des fédérations professionnelles en la matière.**

Enfin, il est intéressant aussi de souligner avec qui la DGPR, la DRIEAT et les DREAL/DEAL n'ont pas de lien. Ainsi, il semblerait qu'il n'existe aucun lien institutionnel entre les services risques de la DREAL et l'ADEME, ce qui est cohérent avec le fait que l'ADEME ne considère pas les risques dans ses appels à projets, nous y reviendrons plus loin. De plus, les représentants de la DREAL interrogés n'ont pas encore reçu de sollicitations de la part du public ou d'ONG.

### 5.3.2 Focus sur les interactions des porteurs de « projets hydrogène » avec les autres acteurs

Les porteurs de « projets hydrogène » sont de différentes tailles : de grands groupes industriels, en passant par des ETI et des PME-PMI, jusqu'au citoyen<sup>49</sup>. Rappelons que nous avons fait le choix délibéré dans cette étude exploratoire de ne pas circonscrire le scope des usages de l'hydrogène, ainsi les porteurs de projets interviewés étaient de tailles différentes et concernaient les usages suivants : vélo, bus et avions à hydrogène, stations-service à hydrogène, électrolyseurs, injection d'hydrogène dans les réseaux de gaz naturel. Nous nous sommes aussi entretenus avec des consultants et bureaux d'étude qui effectuent des analyses de risques réglementaires (ou sur la base d'une démarche volontaire) en lien avec ces usages. Ces derniers donnent aussi des formations à certains porteurs de projets sur l'hydrogène ou l'ATEX.

Pour ce qui concerne les « projets hydrogène » en tant que tel (voir figure 5), les porteurs de projet peuvent être amenés, sans que ce soit systématique, à échanger avec les DREAL très en amont du déploiement de leur projet. Il ressort des entretiens que ces échanges sont importants à plusieurs titres :

---

<sup>47</sup> Ces mêmes propos ont été rapportés par les représentants des cinq SDIS interviewés concernant leurs DREAL respectives.

<sup>48</sup> Ceci est vrai pour d'autres sujets, tel que la méthanisation ou l'éolien.

<sup>49</sup> Le citoyen qui se mobilise sur ce type de projet, c'est-à-dire en ayant une action directe sur des projets afférents à la transition énergétique, n'est en général pas le citoyen ordinaire (Hamman, 2018). A titre d'illustration, le citoyen interviewé dans le cadre de l'étude, qui cherche à développer un écosystème hydrogène (éoliennes – électrolyseur – mobilité lourde), a été par le passé un artisan chauffagiste, devenu ensuite membre fondateur d'un parc éolien.

- Ils participent à la sensibilisation des porteurs de projets aux risques liés à l'hydrogène et à la réglementation afférente (par ex., porter à l'attention d'une collectivité la réglementation afférente aux canalisations de gaz dans le cadre de son projet d'installation d'une station-service déportée avec canalisation transportant de l'hydrogène et traversant le domaine public. Le projet a été vite abandonné par la collectivité grâce aux retours rapides de la DREAL car considéré comme trop lourd à gérer administrativement),
- Ils permettent de réaxer certains projets dès les phases amont du projet, ce qui peut avoir, par exemple, des impacts en matière d'implantation ou de taille du projet (par ex., une collectivité qui souhaitait faire passer une canalisation transportant de l'hydrogène en aérien, alors que la réglementation sur les canalisations interdit la pose de ces canalisations en aérien (sauf si aucune autre solution plus sûre ne peut être raisonnablement mise en œuvre aux plans technique et économique).

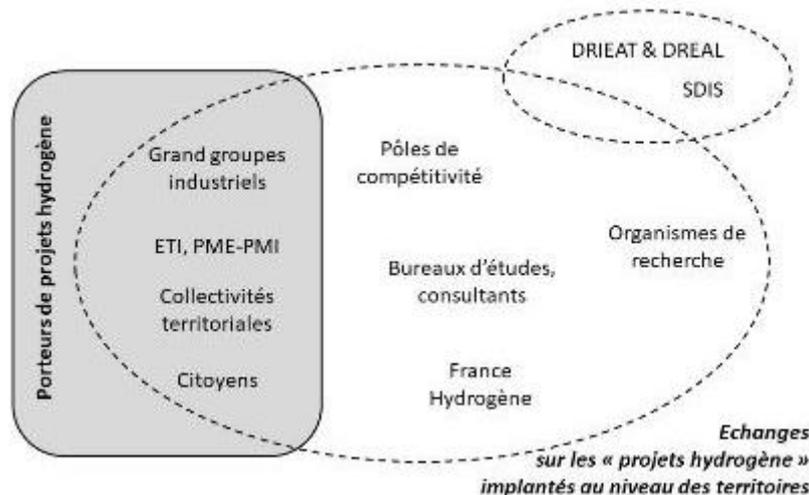


Figure 5 : Représentation schématisée des interactions des porteurs de « projets hydrogène » avec d'autres acteurs publics/privés.

Il ressort des entretiens que certains porteurs de projets, même s'ils n'y sont pas tenus réglementairement, font faire des analyses de risques en lien avec leur projet hydrogène. Ceci leur permet de mieux connaître les risques liés à leur projet et donc de mettre en place les mesures de sécurité adéquates.

Une grande partie des porteurs de projets interrogés ont recours à des experts ou des bureaux de consultants extérieurs pour faire les analyses de risque (qu'elles soient exigées réglementairement ou non), soit parce que n'ayant pas les effectifs, soit parce que n'ayant pas les compétences de le faire en interne, soit pour avoir une validation extérieure des mesures de maîtrise de risques envisagées. Pour le cas où c'est une raison de compétence en interne, on peut constater **une sorte d'externalisation de la prise en compte des risques** vers des dépositaires considérés comme plus experts que le donneur d'ordre (Le Coze J.-C. , 2022). Ce cas de figure semble surtout être retrouvé lorsque les porteurs de projets hydrogène sont des « nouveaux acteurs ».

Il ressort aussi des entretiens que, comme pour tous les acteurs de la filière, les bureaux d'études sont eux aussi en phase d'apprentissage sur l'hydrogène, ce qui explique que certaines questions de sécurité posées par des porteurs de projets ne trouvent pas encore de réponse auprès d'eux. Ceci s'explique notamment par le fait que, dans l'état actuel des connaissances, plusieurs réponses sont parfois possibles et par le fait que le niveau de risque à atteindre n'est pas toujours défini, d'où une incertitude sur la réelle pertinence des mesures de maîtrise des risques à mettre en œuvre, surtout si leur coût est élevé. Dans ce contexte, les interactions entre les porteurs de projets publics et les bureaux d'étude qui ont effectué les analyses de sécurité ont parfois pu poser des difficultés. En effet, dans un cas relaté lors des entretiens par deux personnes de l'équipe projet et par une personne du bureau d'étude en question, les préconisations faites par le bureau d'étude ont été difficiles à mettre en œuvre par l'équipe projet, soit pour des raisons techniques, soit pour des raisons de coût/bénéfice. A noter qu'il nous a été rapporté par un représentant d'un autre bureau d'étude des difficultés pour connaître ce que certains constructeurs de véhicules lourds à hydrogène mettent comme système de sécurité, ce qui complexifie leur activité d'analyse des risques.

Néanmoins, **cette expertise externe aux porteurs de projets est importante car elle permet de nourrir les dynamiques d'apprentissage et d'éclairer certaines décisions** (Sage & Alouis, 2019). Certains bureaux d'étude, notamment ceux de grosse taille, se permettent d'ailleurs parfois de prendre le rôle d'appui externe aux responsables hygiène, sécurité, environnement (HSE) des projets hydrogène, en les accompagnant et renforçant certains messages liés à la sécurité. **Ce mode de régulation informel est pertinent du point de vue de la gouvernance des risques.**

Les interactions entre les porteurs de projets « hydrogène » et les services de secours (SDIS) sont hétérogènes en fonction des SDIS et des porteurs de projet, et lorsqu'elles existent, sont ponctuelles. Les personnes interrogées des SDIS dans le cadre de l'étude n'ont, pour leur part, eu aucune ou très peu d'interactions avec des porteurs de projets. Néanmoins, certaines invitations commencent à être envoyées aux SDIS pour leur faire découvrir les projets, notamment de mobilité, et pour leur proposer de prévoir des exercices d'intervention grandeur nature.

Peu de porteurs de projets ont des liens directs avec les organismes de recherche, sauf ceux des grands groupes industriels qui répondent à des appels à projets avec ces organismes.

### 5.3.3 Focus sur les interactions des SDIS avec les autres acteurs

Les éléments présentés ici sont notamment issus des entretiens menés auprès de cinq SDIS, de l'ENSOSP et de la DGSCGC.

Il existe une très grande hétérogénéité chez les SDIS en matière de connaissance de l'hydrogène et d'acculturation aux nouveaux usages de l'hydrogène, la mobilité notamment. Autant certains SDIS sont déjà en train de réfléchir à compléter leur flotte de véhicules avec des véhicules à hydrogène, autant d'autres, notamment ceux qui ont peu d'industries au sein de leur département, sont très peu familiers avec cette molécule. Il s'agit en effet pour eux de transformer leur vision d'un risque particulier, réservé à l'industrie, en un risque courant en zone délocalisée, c'est-à-dire qui peut apparaître n'importe où. De même, certains SDIS ont déjà en place des procédures d'interventions opérationnelles, tandis que d'autres n'ont pas démarré la réflexion.

Il ressort aussi des entretiens que les sapeurs-pompiers peuvent avoir une certaine appréhension, ayant encore en mémoire l'accident de Vénissieux de 1999<sup>50</sup> et n'ayant pas une grande expérience des feux de véhicules équipés d'énergie alternative, d'où l'importance de la production de guides de bonnes pratiques, sur lesquels les contenus de formation sont créés. Comme vu précédemment, des guides de doctrine sont en cours de publication et de rédaction par la DGSCGC. Chaque SDIS pourra ensuite décliner les principes proposés dans ces guides en fonction des spécificités de son territoire. Un guide opérationnel départemental, rédigé notamment par le SDIS86, propose des préconisations concernant la réponse opérationnelle à apporter par les sapeurs-pompiers dans les domaines des accidents de la route et des feux de véhicules, ceci pour les véhicules équipés d'énergie alternative aux carburants traditionnels, incluant l'hydrogène. Pour ce qui concerne la formation, quelques SDIS dont le SDIS86 propose des formations sur la gestion des feux de véhicules à énergies alternatives, incluant l'hydrogène. Trois types de formations sont proposés : une formation qui apprend aux pompiers à lire un feu de véhicules à énergies alternatives et à cibler la source d'énergie, une formation de secours routier et une formation spécifique aux accidents de poids lourds. Enfin, l'ENSOSP propose des formations basées sur des mises en situations spécifiques sur des pressions d'hydrogène gazeux allant jusqu'à 700 bar. Cette école dispose en effet d'une plateforme sur son site à Aix en Provence (seule plate-forme en Europe), qui lui permet de manipuler de l'hydrogène à pression réelle et de comparer l'hydrogène avec le GPL, GNV, etc.

Quel que soit le type de formation considéré, il semblerait qu'une approche didactique du danger, qu'un apport de connaissances scientifiques de manière vulgarisée permettant la désacralisation de l'hydrogène et qu'une mise en perspective des véhicules à hydrogène par rapport à d'autres véhicules équipés d'énergie alternative<sup>51</sup> soient à prioriser. D'un point de vue opérationnel, il s'agit de former les primo intervenants au fonctionnement de la caméra thermique. Il a néanmoins été rapporté par

---

<sup>50</sup> La déflagration d'un véhicule GPL, à la suite d'un incendie d'origine criminelle, avait blessé six pompiers, l'un d'entre eux ayant été amputé d'une jambe.

<sup>51</sup> Les véhicules équipés d'hydrogène ne sont pas mono-énergie. Leur particularité est que ce sont les seuls véhicules légers qui possèdent en leur sein deux sources d'énergie différentes (Nous paraphrasons ici un représentant de SDIS interrogé).

l'ENSOSP que la formation s'adossant à la doctrine, tout guide de bonnes pratiques est le bienvenu, notamment ceux de la DGSCGC, pour permettre de compléter les offres de formation existantes.

L'appréhension dont font preuve certains sapeurs-pompiers n'est pas à comprendre comme de l'opposition de principe. Tous les représentants des SDIS interrogés ont exprimé le fait de ne pas être opposés aux technologies hydrogène, mais apprécieraient d'être (plus) écoutés par les porteurs de projets sur leurs besoins en matière d'intervention. En effet, la majeure partie des représentants des SDIS interrogés n'ont pas encore eu, à ce jour, d'interactions particulières avec des porteurs de projets hydrogène. Quelques porteurs de projets hydrogène interrogés ont, quant à eux, rapporté avoir associé les SDIS, notamment pour leur présenter un véhicule équipé d'hydrogène (où se situe la batterie, le stockage de l'hydrogène, la soupape, etc.) ou pour échanger sur un projet d'électrolyseur ou de station de recharge (que faudrait-il modifier au niveau de la conception pour permettre aux pompiers d'intervenir). Lorsqu'ils ne sont pas directement contactés par les porteurs de projets, les SDIS sont souvent associés par les DREAL, soit informellement à travers des échanges sur les projets, soit de manière formelle en étant invités à participer aux réunions de la DREAL avec les porteurs de projet hydrogène (voir partie 5.3.1).

De manière ponctuelle, les SDIS peuvent participer à des projets de recherche en tant que membre de consortium dans le cadre d'appels d'offre ANR ou de la commission européenne, notamment avec l'INERIS ou d'autres partenaires industriels et académiques. De telles participations sur des sujets liés à l'hydrogène et à la sécurité peuvent être l'occasion d'apprentissage important pour toutes les parties.

## 5.4 La perception des acteurs sur la place du risque au sein des « projets hydrogène »

Nous rappelons en préambule à cette section que nous exposons ici la perception et les points de vue exprimés par les personnes lors des interviews.

### 5.4.1 Une vision hétérogène sur ce qu'est le risque

Il ressort des entretiens que tous les acteurs ne mettent pas les mêmes significations derrière le terme « risque ». La puissance publique a exprimé le fait de considérer sérieusement les risques associés à l'hydrogène, en précisant ne pas les différencier d'autres risques. Les SDIS, quant à eux, ont évoqué deux points de vue sur les risques liés aux véhicules équipés d'hydrogène. D'une part, certains sapeurs-pompiers considèrent l'hydrogène comme dangereux et souhaitent des formations spécifiques, d'autre part, d'autres sapeurs-pompiers n'ont pas d'appréhension particulière et considèrent qu'il faut traiter de la même façon tous les types de véhicules, la question étant de savoir s'il faut *in fine* éteindre le véhicule ou pas.

Tous les porteurs de « projets hydrogène » ont exprimé, lors des entretiens, le fait que la sécurité est primordiale. Tous n'ont néanmoins pas la même compréhension de ce qu'est le risque et ne priorisent pas les différents types de risques de la même manière. Ainsi, un représentant d'une DREAL nous a rapporté son expérience d'un projet de bateau à hydrogène couplé à des stations de recharge dans divers ports. Il ressort de l'expérience de ce représentant de DREAL que les différents interlocuteurs avaient une approche différente du risque : les exploitants des différents ports, le transporteur de l'hydrogène, l'exploitant du bateau, l'agglomération ; tous n'avaient pas la même vision de ce qu'est un risque, de ce qui n'est pas un risque, si l'hydrogène est risqué ou pas, de la réglementation qui s'applique, ou qui ne s'applique pas, ce projet étant aux interfaces de plusieurs réglementations différentes, et plus largement de plusieurs « cultures ». Par ailleurs, l'introduction de l'hydrogène dans les dépôts de bus introduit de nouveaux risques sur des sites qui n'ont pas toujours l'habitude de gérer des risques et amène des acteurs de cultures différentes à devoir interagir. Ainsi, un exemple rapporté par une responsable HSE d'une entreprise délégitrice de gestion d'une flotte de bus est son souhait de matérialiser une zone ATEX au sol au niveau de la station de recharge des bus à hydrogène puisque les chauffeurs de bus ne sont pas familiers à gérer le risque ATEX. La réaction de l'énergéticien exploitant de l'électrolyseur a été de refuser au principe que ce n'est pas une exigence réglementaire. Les données récoltées dans le cadre de la présente étude ne permettent pas d'aller plus loin dans l'analyse sur la culture du risque au sein de la filière hydrogène, il serait néanmoins intéressant d'investiguer ce sujet plus avant lors de recherches futures.

Il ressort aussi des entretiens que pour certains acteurs, le risque dans le domaine de l'hydrogène équivaut à des problèmes d'acceptabilité du public, tandis que pour d'autres il s'agit de maîtriser la

viabilité économique de l'écosystème<sup>52</sup> à hydrogène en devenir. Aussi, selon certains acteurs interrogés, la balance faite par certains nouveaux acteurs entre sécurité et vitesse de déploiement du projet ne semble pas toujours pencher vers la sécurité. Plusieurs interviewés ont aussi fait part de leur confiance dans la bonne prise en compte de la sécurité pour ce qui concerne le développement des technologies de l'hydrogène en elles-mêmes, moins pour ce qui concerne les essais ou tests de ces produits, que ce soit du point de vue de la méthodologie des essais à produire ou du point de vue de la sécurité des travailleurs effectuant ces essais. Au moins deux personnes interviewées ont d'ailleurs rapporté une certaine méconnaissance des porteurs de projets de la réglementation du travail qui concerne la prévention des risques en atmosphère explosive (risque ATEX).

Il ressort aussi que le scope à considérer pose parfois question. Pour certains, la gestion des risques s'arrête à la bonne connaissance du produit (en l'occurrence ici l'hydrogène). Pour d'autres, il s'avérerait important, pour un écosystème hydrogène donné, de s'interroger sur les interfaces au sein de la (longue) chaîne de valeur de l'hydrogène impliquant une multitude d'acteurs différents, pour certains pas ou peu habitués à gérer les risques liés à l'hydrogène : qui est responsable de quoi et comment les informations et le retour d'expérience circule-t-il au sein des différents acteurs de l'écosystème en question. Prenons l'exemple d'un écosystème de mobilité lourde (bus ou camion-benne fonctionnant à l'hydrogène) au sein d'une agglomération : la question se pose de savoir comment sont gérées les interfaces entre l'agglomération, souvent propriétaire du foncier, l'exploitant de l'électrolyseur, l'exploitant de la station-service, l'entreprise délégatrice exploitant les bus (et employeur des chauffeurs de bus), le parking et les entrepôts pour la maintenance, le constructeur des bus à hydrogène, l'entreprise en charge de la maintenance des bus, qui peut être le constructeur ou bien l'entreprise délégatrice, ou bien les deux en fonction du type de maintenance. Une personne interrogée a rapporté des difficultés dans l'écriture d'une convention d'accès entre l'exploitant de la station, le constructeur des bus à hydrogène pour les tests de remplissage du bus et l'entreprise délégatrice dont les conducteurs de bus doivent se servir de la station pour recharger leurs bus. De même, décider qui d'entre les conducteurs des bus ou des personnels du constructeur de bus doivent rédiger le protocole de remplissage des bus à la station ne semble pas être une mince affaire. Ce sujet a aussi été abordé par un répondant de la puissance publique qui s'interrogeait de l'articulation et de la prise en compte des interfaces et des effets dominos<sup>53</sup> dans les réglementations couvrant toute la chaîne de valeur de l'hydrogène.

En plus des interfaces, l'utilisation décentralisée de l'hydrogène, dans de petites installations fixes ou mobiles avec accès au grand public, amène à s'interroger sur la prise en compte des différents contextes d'usage, notamment pour la gestion incidentelle ou accidentelle. Ainsi, une fuite d'hydrogène dans une station qui permet d'alimenter à quai un bateau accueillant 500 personnes pourrait entraîner un bruit de sifflement de 700 bar, ce bruit pouvant entraîner un mouvement de panique. Ce type de questionnement n'est pas toujours, selon un représentant des SDIS interrogé, dans le scope des sujets considérés par les porteurs de projet.

#### 5.4.2 Une perception divergente de la prise en compte des risques

Il ressort des entretiens que, même si tous les acteurs ont conscience du fait que la filière ne peut pas se permettre d'avoir un accident, tous n'ont pas la même perception de la prise en compte des risques liés à l'hydrogène au sein de la gouvernance.

Du point de vue de la majorité des personnes interviewées dans le cadre de l'étude (représentants des grands groupes industriels & ETI, DREAL, INERIS, bureaux d'études & consultants, pôles de compétitivité, France hydrogène, etc.), **le risque est actuellement correctement pris en compte** dans le domaine industriel par les acteurs qui ont historiquement toujours manipulé le vecteur hydrogène, notamment les gaziers, comme en atteste par ailleurs la faible accidentologie depuis plusieurs dizaines d'années (voir partie 2.4.1). Selon ces mêmes répondants, le risque est aussi globalement correctement pris en compte par les acteurs qui se positionnent sur les nouveaux usages de l'hydrogène. En revanche, d'après eux, **la priorisation de la sécurité par rapport à la recherche de profits ou par rapport au fait que les projets aboutissent en un temps contraint, est parfois insuffisante chez certains « nouveaux entrants » dans le domaine de l'hydrogène.** Ainsi, selon un représentant d'un

---

<sup>52</sup> Nous entendons par « écosystème hydrogène » un cadre de production et distribution de l'hydrogène en lien avec des usages, sans bornage géographique a priori.

<sup>53</sup> Définition vulgarisée de l'« effet domino » : un événement qui en cause un autre.

bureau d'étude, certaines start-ups peuvent parfois s'affranchir de certaines analyses de sécurité et selon un représentant industriel : « *Pour gagner quelques euros, ils sacrifient des design, des barrières. Or un accident pénalisera l'ensemble de la filière* ». Et selon un représentant de la puissance publique, « *autant la « communication » au sein des grands groupes industriels peut avoir tendance à dire « on sait faire », autant la « technique » peut être amenée à dire « comment on fait ? »* ».

Deux exemples plusieurs fois cités lors des entretiens ont trait aux discussions actuelles au sein du GT réglementation de France hydrogène. Ils concernent, d'une part les limites de seuil qui permettent de catégoriser les installations selon qu'elles tombent sous le régime de la déclaration ou de l'autorisation, d'autre part les distances minimales d'éloignement en limites de site (par ex., station-service, électrolyseur, etc.). Ainsi, il est rapporté que certains membres, souvent « nouveaux entrants », proposeraient que les seuils d'autorisation soient remontés et que les distances de sécurité soient diminuées, ce dernier sujet étant important lorsque l'on considère le prix du foncier, notamment dans les grandes agglomérations. Selon les personnes interrogées, les raisons qui amèneraient certains à faire ces propositions sont soit la méconnaissance de la façon dont ces seuils et distances ont été à l'époque décidées, soit la mauvaise appréciation des risques liés à l'hydrogène. Finalement, il semblerait que les échanges au sein de ce GT réglementation de France hydrogène soit, certes, d'interagir sur les avancées réglementaires nécessaires afin de répondre aux développements technologiques, mais aussi d'identifier et de partager des connaissances sur les risques associés à l'hydrogène dans ses divers usages et les bonnes pratiques pour maîtriser les risques. Lors des entretiens, il a été rapporté qu'il s'y opérerait ce que nous appelons une **régulation informelle**, c'est-à-dire que **les acteurs avec le plus de poids (en terme économique, de connaissances préalables sur l'hydrogène, etc.) sensibilisent les « nouveaux entrants » aux risques afférents au vecteur hydrogène, ceci pour rendre pérenne le devenir de la filière**. En effet, l'acceptabilité du public est importante, ce qui amène à prendre en compte les risques, même si une certaine ambivalence prévaut car il ne faut pas non plus faire peur au public, alors cela se fait de manière peu visible. **Ceci semble néanmoins insuffisant aux yeux de certains car ce processus est aléatoire du point de vue de la qualité et de la cohérence des messages diffusés**. Plusieurs interviewés ont regretté que les risques ne soient pas plus discutés au sein de France hydrogène, considérant que France hydrogène pourrait être un cadre propice à ces discussions à froid entre experts de l'hydrogène. En effet, la prise en compte explicite du risque au sein de France hydrogène se fait uniquement au sein du GT Réglementation ou à travers le volet assurantiel, comme en atteste la création récente d'un GT sur le sujet au niveau de France hydrogène Ile-de-France.

Nous n'avons pas eu la possibilité d'investiguer le profil exact de ces « nouveaux acteurs », mais il ressort des entretiens qu'il peut s'agir tout autant d'acteurs qui viennent d'autres secteurs à risques (de grands groupes industriels à des start-up en termes de taille), et auquel cas il s'agirait là pour eux de mieux appréhender les spécificités de l'hydrogène et de ne pas calquer sur l'hydrogène des habitudes ou réflexes issus d'autres domaines à risques (en termes de phénomènes dangereux, par ex., un grand groupe industriel surpris de devoir faire ou refaire une étude ATEX alors qu'il prévoit de remplacer l'essence par de l'hydrogène), ou bien de nouveaux acteurs qui ne viennent pas de secteurs risqués et n'ont donc pas l'habitude de gérer ou maîtriser les risques technologiques. Pour ces derniers, les collectivités territoriales ont été presque systématiquement citées comme ne maîtrisant pas suffisamment la sécurité et les risques liés à l'hydrogène. Souvent, il a été expliqué par les répondants que ces nouveaux acteurs n'ont pas pour habitude de considérer les risques liés à la sécurité, à l'inverse du développement économique de leur territoire. Enfin, un répondant a rapporté ne pas croire à la culture du risque chez ces porteurs de projets, puisqu'ils ne restent pas assez longtemps en poste pour que « ça percole », d'où le besoin de « systèmes intrinsèquement sûrs ».

Les personnes des collectivités territoriales interrogées, quant à elles, reconnaissent (sauf une) que les risques en termes de sécurité associés à l'hydrogène sont peu discutés de leur côté. Pour les personnes ayant une fonction plutôt politique au niveau des régions ou des agglomérations, l'objectif est de porter une stratégie hydrogène et de reporter la question des risques sur les industriels. Ceci n'est d'ailleurs *a priori* pas spécifique à l'hydrogène. Pour les personnes ayant une fonction plus opérationnelle de gestion du projet hydrogène au niveau des collectivités, la prise en compte et la gestion des risques sont externalisés, à la fois chez les industriels (d'électrolyseur, de stations-service, etc.) et les délégataires, ainsi qu'auprès des bureaux d'étude qui effectuent les EDD ou analyses de sécurité. Il ressort des entretiens que les appels d'offre émis par les collectivités territoriales ne contiennent rien ou presque sur la sécurité, les collectivités considérant que c'est aux soumissionnaires de l'appel d'offre de prendre en compte le sujet et de faire des propositions incluant la sécurité.

**Cette perception parfois négative envers les « nouveaux acteurs » telles que les collectivités territoriales est toutefois à nuancer car il semble inexact d'affirmer que les risques soient totalement absents de leurs préoccupations.** La sécurité étant souvent une partie du budget du projet, elle est en général prise en compte. Cependant, les collectivités n'ayant pas les compétences sur la sécurité en interne, elles se reposent sur des prestataires. On peut donc dire que les collectivités ont conscience des risques puisqu'elles ont demandé l'étude. A titre d'illustration, dans le cadre d'un projet de dépôt de bus fonctionnant au diesel et à l'électrique, auquel il était prévu d'ajouter des bus équipés d'hydrogène, les porteurs du projet ont demandé une étude de sécurité à un bureau d'études extérieur pour être en capacité de mettre aux normes le bâti existant. En effet, le peu de littérature sur le sujet ne leur permettait pas de définir les scénarios accidentels majorants, pour ensuite pouvoir adapter le dépôt avec des équipements capables de prévenir des incidents et d'écrire le document de prévention des risques, ensuite décliné en procédures de travail pour les personnes travaillant dans le dépôt. Au sein d'HYmpulsion, opérateur public-privé de l'installation des stations de distribution de « Zero Emission Valley »<sup>54</sup>, un ingénieur travaille à temps plein sur le sujet de la sécurité et un budget spécifique sur la prise en compte de la sécurité dans les stations-service a été voté par le comité stratégique. Les stations de distribution de l'hydrogène ne sont pourtant pas réglementairement soumises à autorisation, néanmoins certains acteurs au sein de la gouvernance d'HYmpulsion portent le sujet de la sécurité et ont réussi à convaincre de l'importance d'y accorder des moyens (Financement d'études paramétriques, rédaction d'un document *safety concept* qui est une déclinaison opérationnelle (HAZIP, HAZOP) partagée avec les fournisseurs et sous-traitants, réunions *safety* hebdomadaires).

**Plusieurs fois est revenue au cours des entretiens la façon dont les appels à projets (ADEME ou européen) sont montés, car ils n'amèneraient pas les porteurs de projets hydrogène à se préoccuper des risques.** En effet, comme l'a reconnu le représentant de l'ADEME interrogé, la sécurité ne fait pas partie des critères analysés, notamment du fait que le sujet des risques ne rentre pas dans les compétences de l'ADEME et que la gestion du risque est portée par les porteurs de projets eux-mêmes à travers les études d'ingénierie. Ceci éclaire pourquoi l'ADEME n'a pas de relations particulières avec la DGPR, les DREAL ou avec les SDIS. En ce sens, l'ADEME est absente de la gouvernance des risques. Pour ce qui concerne les projets européens, un répondant d'une collectivité a relaté le fait d'avoir répondu à un projet européen en collaboration avec plusieurs régions (Axe nord-sud va devenir un corridor zéro émission à travers l'installation de huit stations-services et de deux unités productions (électrolyse + ENR)), où autant il y avait des critères clairs sur les performances environnementales et économiques, autant les risques ne faisaient pas partie des critères objectifs de la soumission à l'appel à projet. Au demeurant, cela ne veut en aucun cas dire que les risques ne seront jamais regardés dans le cadre des projets qui voient le jour grâce à des subventions publiques ou européennes. Cela veut seulement dire que les échanges sur les risques arriveront plutôt tard que tôt dans le déroulement du projet, comme cela a déjà été souligné par Carré & al. (2020), en particulier lors des interactions avec les DREAL, les EDD faisant parfois partie des livrables attendus.

Deux porteurs de projets ont rapporté le fait d'avoir entendu des SDIS dire qu'un feu de véhicule hydrogène n'est pas plus dangereux qu'un feu de véhicule essence ou bien que l'hydrogène ne présente pas de risque particulier. Ces propos prêtés aux SDIS sont ensuite utilisés par ces porteurs de projet pour justifier, notamment auprès du public, le fait d'aller sur de la mobilité ou du stockage de l'hydrogène, car ne présentant pas de risque particulier. Les SDIS interrogés dans le cadre de la présente étude ont été recontactés pour leur demander de commenter. Ils ont répondu qu'ils ne partageaient pas ces propos. Outre le fait que les sapeurs-pompiers se doivent de ne pas opposer les technologies entre elles, mais plutôt pointer les avantages et les problématiques de chacune, toutes les précautions doivent être prises par les services de secours à l'approche des véhicules équipés d'hydrogène, au regard des risques présentés dans la partie 2.4.2.

---

<sup>54</sup> L'objectif de « Zero Emission Valley » est de déployer simultanément des infrastructures de production, de stockage, de distribution d'hydrogène et des véhicules à hydrogène dans la région Auvergne-Rhône-Alpes (1000 véhicules, 20 stations et 15 électrolyseurs à horizon 2023). Ce partenariat public/privé est construit autour de major et de start-up du territoire et financé par la Région Auvergne-Rhône-Alpes, Michelin, ENGIE, la Banque des Territoires et le Crédit Agricole. HYmpulsion est la structure commerciale créée par les partenaires du projet Zero Emission Valley (Engie, Michelin et la Région Auvergne-Rhône-Alpes). Elle est en charge de l'installation et de l'exploitation des stations, ainsi que de la commercialisation de l'énergie hydrogène.

Ainsi, il semblerait que certains acteurs aient des difficultés à se représenter les risques liés à l'hydrogène, ainsi qu'une méconnaissance de la réglementation afférente à l'hydrogène, ce qui peut être rattaché plus globalement à un besoin de montée en compétences de la filière sur l'hydrogène. Ce besoin de montée en compétences et de formation a été identifié par la puissance publique et par France hydrogène, comme en atteste le fait que le Conseil national de l'hydrogène suive le développement des formations au sein de la filière hydrogène<sup>55</sup>, ainsi que la publication en 2021 par France hydrogène d'un livre blanc sur les « Compétences-métiers de la filière Hydrogène »<sup>56 57</sup>. Sur les 75 métiers identifiés par l'étude commanditée par France hydrogène, une quinzaine apparaît actuellement en tension. Pour y remédier, deux projets dans le domaine de la formation professionnelle ont débuté : La « Symbio Hydrogen Academy » portée par l'entreprise Symbio qui vise à former 300 personnes par an aux métiers de l'hydrogène et la « H2 Académie », portée par le groupe Air Liquide et destinée à former des étudiants en BTS. Toutes ces réflexions et initiatives attestent du fait que la filière hydrogène souhaite progresser en toute sécurité sur le développement des nouveaux usages de l'hydrogène.

## 5.5 Retour sur le rôle de l'hydrogène dans la transition énergétique

Quelques auteurs en sciences humaines et sociales ont très récemment écrit sur comment les choses ont fonctionné ou fonctionnent encore pour ce qui concerne le déploiement de la filière hydrogène en France (Jammes, 2021; Lemarchand, 2021; Turmel, 2021; Meunier & Ponsard, 2020; Ngounou Takam, 2021). Ainsi, pour Jammes (2021), le déploiement de l'hydrogène en France ne s'est pas enclenché de manière descendante par l'intervention d'intérêts puissants et structurés, mais de manière plutôt diffuse et impulsée par quelques acteurs au sein d'agences gouvernementales (ADEME, ANR). Selon lui, les régions se sont ensuite approprié les technologies de l'hydrogène et ont proposé des projets structurants. Ce sont donc les initiatives territoriales qui auraient impulsé l'élaboration du plan national hydrogène. Turmel (2021), quant à lui, avance l'idée que ce sont les institutions publiques et industrielles parmi les plus influentes sur le territoire qui pilotent la majeure partie de l'impulsion. Leurs actions de cadrage de l'implantation et du financement de l'hydrogène auraient pour objectif de créer une appétence pour le vecteur hydrogène chez les collectivités territoriales, les industries régionales en lien avec l'énergie, ou les industries de tout gabarit dont le secteur d'activité est sans lien direct avec l'énergie. Toujours selon l'auteur, les collectivités territoriales et industries n'étant pas parmi les plus influentes, mais s'intéressant au vecteur hydrogène (par ex. : les métropoles, les communautés de communes, etc.) mettent ensuite en place des projets sous l'impulsion des plus influents. L'émulation qui en résulte conduirait ces acteurs à transmettre leur intérêt au niveau des citoyens par la mobilisation lors d'ateliers, conférences, etc.

Les échanges tenus lors de la soixantaine entretiens vont plutôt dans le sens de Turmel, c'est-à-dire que le déploiement de l'hydrogène en France, dans le cadre de la transition énergétique, est impulsé, facilité et piloté par l'Etat, qui utilise à la fois la persuasion (*soft power*) et le pouvoir réglementaire (*hard power*). Il est aussi impulsé par France hydrogène, qui représente la majeure partie des acteurs de l'hydrogène, notamment les plus importants. L'Etat, dans son rôle de chef d'orchestre de la transition énergétique, reconnaît toutefois le rôle actif et primordial des régions et collectivités territoriales qui, elles aussi, pilotent à leur niveau le déploiement de l'hydrogène à travers les commandes publiques. C'est en ce sens que l'on peut parler de gouvernance multiscalaire (voir partie 2.5.1). Nous avons vu dans la partie 2.2.2 que deux idéologies s'affrontent actuellement sur la transition énergétique, entre les défenseurs du réseau historique et les défenseurs d'un changement de paradigme et d'une rupture technologique et sociale qui passent par l'expérimentation de nouveaux systèmes électriques les plus autonomes possibles par rapport aux grands réseaux existants (Lopez, 2019). Il ressort des entretiens

---

<sup>55</sup> Compte-rendu public de la première réunion du conseil national de l'hydrogène : <https://www.economie.gouv.fr/plan-de-relance/premiere-reunion-conseil-national-hydrogene>.

<sup>56</sup> France hydrogène (2021). Livre blanc sur les Compétences-métiers de la filière Hydrogène. Anticiper pour réussir le déploiement d'une industrie stratégique. Disponible ici : [http://www.afhypac.org/documents/publications/rapports/France%20Hydrog%C3%A8ne\\_Livre%20blanc%20Comp%C3%A9tences-m%C3%A9tiers\\_Final.pdf](http://www.afhypac.org/documents/publications/rapports/France%20Hydrog%C3%A8ne_Livre%20blanc%20Comp%C3%A9tences-m%C3%A9tiers_Final.pdf).

<sup>57</sup> Voir aussi l'étude très récente "Emplois, Compétences et Formations Hydrogène en Auvergne-Rhône-Alpes" pilotée par les pôles de compétitivité Tenerrdis, CARA, AXELERA, les Campus Auto/Mobilités et Smart Energy Systems Campus, ainsi que la Région Auvergne Rhône-Alpes. L'étude a permis de quantifier et qualifier les besoins spécifiques de la filière hydrogène régionale en matière de compétences et de formations, en complément de la cartographie nationale des métiers-compétences réalisée par France Hydrogène.

que, selon les acteurs interrogés, on assiste pour certains à la continuité du modèle centralisé, et pour d'autres à un système plus hybride, qui donne un rôle accru aux territoires en matière d'énergie. Nous verrons dans la partie 5.5.4 que le rôle du public reste pour tous, à ce jour, très faible ou marginal.

A l'échelle régionale, les décisions énergétiques passées sont structurantes puisqu'elles conditionnent les possibilités de changement, dans une tension entre rupture et continuité et par la même répondent à différentes acceptions de la transition. En effet, même si les objectifs de long terme sont communs, chaque région fait face à des potentiels de production d'énergie, à des problématiques spécifiques d'approvisionnement et d'organisation des réseaux d'énergie et à des cultures et des logiques d'acteurs (Futuribles, RTE, Caisse des Dépôts, 2018; La Branche & Bosboeuf, 2017). Le déploiement des technologies hydrogène devrait donc répondre à des besoins localisés en fonction des critères de pertinences du territoire. En effet, le recours au vecteur hydrogène est encore une solution coûteuse, il doit donc être utilisé là où des solutions peu coûteuses ne sont pas pertinentes ou là où il n'y a pas d'autres alternatives, comme pour l'industrie utilisant l'hydrogène comme matière première. Il ressort des entretiens que l'on assiste actuellement en France à un déploiement de deux sortes : le déploiement de quelques gros électrolyseurs comme en Allemagne ou aux Pays-Bas et un déploiement plus diffus, sous forme de petits projets avec une logique de proximité et d'intégration de l'hydrogène dans des écosystèmes en place, tels que les usages de la mobilité qui viennent compléter des écosystèmes créés autour d'usages industriels.

De plus, il ressort des entretiens que les régions et les collectivités territoriales sont confrontées à une complexité croissante du paysage de la transition énergétique, avec une multitude d'acteurs, de projets, d'innovations et de dispositifs. Le dépassement de cette complexité constitue un défi pour les territoires qui reste encore à relever (Futuribles, RTE, Caisse des Dépôts, 2018). Nous ne nous sommes pas attachés, dans le cadre de la présente étude, à décrire et analyser finement les liens entre les régions, les métropoles, les agglomérations ou les communautés de commune, ni comment est géré le contenu du mix énergétique, comment est décidé le rôle que doit y jouer l'hydrogène par rapport à d'autres solutions (cf. Approche par besoin vs. Approche par technologie) ou d'approfondir la manière dont les risques sont intégrés dans les arbitrages. Ceci pourrait faire l'objet de futures recherches. A noter qu'actuellement six régions coconçoivent depuis cinq ans avec des acteurs privés un outil d'aide à la décision pour décideurs publics pour ce qui concerne le potentiel et les projections de mix énergétiques au niveau des territoires. La dimension risque y est absente<sup>58</sup>.

Réfléchir au rôle de l'hydrogène dans la transition énergétique ne peut pas faire l'impasse de considérer le fait qu'il s'agisse ici du déploiement d'une filière nouvelle, en prise avec beaucoup d'innovation technologique, ce qui va de pair avec le fait que pour qu'elle devienne pérenne, les coûts doivent diminuer. La stratégie française sur l'hydrogène portée par l'Etat a notamment pour objectif de structurer l'écosystème industriel en accompagnant le changement d'échelle à travers le montage d'écosystèmes territoriaux d'envergure. Ceci passe par l'identification et la structuration de la chaîne de valeur complète (modes de production et de distribution les plus pertinents) et par la mise en place de conditions d'industrialisation à travers la massification des projets. L'exemple de commandes groupées de collectivités pour les flottes de bus à hydrogène met en évidence l'intérêt d'une politique publique cohérente entre le niveau local pour maîtriser les effets de réseau et un niveau global suffisamment significatif pour générer les effets de volumes seuls capables d'engendrer les baisses de coûts (Meunier & Ponsard, 2020). Cependant, le fait que les collectivités construisent chacune leur électrolyseur ne permet pas, selon France hydrogène, de massifier et de faire baisser suffisamment le coût de l'hydrogène, d'où leur souhait de davantage agglomérer les projets, de renforcer la concertation et la coordination entre les différents niveaux territoriaux et de réfléchir en termes de « projets de bassins ». En effet, le niveau d'échelle « bassin de vie élargi » pourrait, selon eux, constituer une échelle à promouvoir pour territorialiser les stratégies de transition énergétique et permettre d'explorer les complémentarités entre territoires urbains et ruraux<sup>59</sup>. Sept grands bassins ont été identifiés par France

---

<sup>58</sup> A noter qu'en 2021, l'INERIS a développé une méthodologie d'analyse des risques dans le contexte de choix de mix énergétique sur les territoires : « Développement d'une approche d'évaluation multirisque dans le contexte de transition énergétique » (en cours de finalisation à cette date). En 2022, l'INERIS pourrait appliquer cette approche sur un cas concret. (Programme SIT 01, opération C2).

<sup>59</sup> A noter la mise en place de délégations territoriales au sein de France hydrogène, avec une animation au niveau national.

Hydrogène dans l'étude « Trajectoire pour une grande ambition hydrogène »<sup>60</sup>, présentée lors des Journées Hydrogène dans les territoires à Dunkerque en septembre 2021. La réaction crispée qui nous a été rapportée de certains représentants de territoires ne faisant pas partie de ces « hubs territoriaux d'envergure » démontre des tensions existantes actuellement sur la vision des acteurs de la transition énergétique, qui oscille entre les deux paradigmes présentés précédemment. Ce point mériterait aussi d'être développé ultérieurement.

## 5.6 Un partage du retour d'expérience à impulser au sein de la filière

Le développement des nouveaux usages de l'hydrogène en est encore à ses débuts, ainsi peu de projets sont encore aboutis et peu d'écosystèmes hydrogène sont en fonctionnement ; le corolaire étant qu'il n'y a pas ou très peu d'écart, de presque accidents, d'incidents ou d'accidents sur lesquels apprendre (Ex. : D'après une personne interrogée, il n'existe aucun retour d'expérience sur les bennes à ordures équipées d'hydrogène, puisque peu de ces véhicules roulent actuellement en France).

Le retour d'expérience (REX) est un des outils essentiels du management de la sécurité, consistant en une démarche organisée et systématique de recueil et d'exploitation des signaux que donne un système. Il doit permettre de comprendre la dynamique des situations et de partager l'expérience acquise pour un apprentissage technique et organisationnel (soit la mise en œuvre, dans un secteur ou une structure apprenante, de dispositifs de prévention s'appuyant sur l'expérience passée.). Certains porteurs de projets hydrogène ont déjà en place ou sont en train de mettre en place des dispositifs de REX. Pour les grands groupes industriels, le REX sur l'utilisation du vecteur hydrogène s'intègre ou s'adosse au processus de REX déjà existant au sein de leur organisation. Des porteurs de projets de taille plus réduite ont rapporté que le REX a déjà permis de faire évoluer les procédures opérationnelles, alors même que la technologie hydrogène fonctionne depuis peu chez eux.

Un point de vigilance ressort des entretiens. Il concerne le partage du REX entre les différents acteurs, selon deux niveaux. Le premier niveau concerne le partage du REX au sein des écosystèmes à hydrogène au niveau d'un territoire et vient questionner la gestion des interfaces entre les différents acteurs comme mentionné dans la partie 5.4.1. Ainsi, il nous a été rapporté la difficulté de mettre en place un système de REX partagé entre une entreprise délégatrice (bus équipé d'hydrogène) et un énergéticien (électrolyseur et station de recharge), où l'entreprise délégatrice a transmis sept rapports de REX pour discussion à l'énergéticien, sans avoir jamais reçu de réponse de sa part et l'avoir interprété comme une fin de non-recevoir. Le second niveau concerne toute la filière. En effet, il ressort des entretiens qu'il n'existe à ce jour pas de partage de retour d'expérience formalisé au sein de la filière hydrogène en matière de sécurité. Un représentant d'un bureau d'études a partagé le fait de constater lors de ses interventions dans les entreprises tous les 6 à 9 mois que les mêmes difficultés se reproduisent au sein d'une même entreprise d'une fois sur l'autre. Des difficultés analogues peuvent aussi se retrouver d'une entreprise à l'autre. Un exploitant d'une flotte de véhicules équipés d'hydrogène nous a rapporté avoir partagé un REX au sein de France hydrogène qui a ensuite été utilisé à mauvais escient selon lui par d'autres porteurs de projets auprès d'une DREAL, ce qui l'a amené à ne plus réitérer.

Rappelons toutefois que la collecte des informations concernant les accidents ou incidents survenus dans les ICPE soumises à autorisation ou à déclaration est réalisée par le BARPI, ce qui est précieux pour toute la filière. Il ressort des entretiens que tous les acteurs n'ont pas connaissance du rôle du BARPI et de son implication dans le retour d'expérience. Rappelons aussi qu'apprendre ne s'effectue pas uniquement à la suite des accidents, mais aussi lors du fonctionnement quotidien des organisations et des écosystèmes, sur les écarts, les presque accidents et les incidents, pour justement éviter l'accident. **Une réflexion pourrait donc être menée pour compléter ce que fait le BARPI en promouvant le partage du REX, y compris celui dont le report n'est pas réglementairement exigé, au sein des tous les acteurs de la filière hydrogène en France.**

---

<sup>60</sup> Disponible ici : <https://www.afhyac.org/presse/sur-la-trajectoire-d-une-grande-ambition-hydrogene-3405/#:~:text=L'%C3%A9tude%20%C2%AB%20Trajectoire%20pour%20une.de%20d%C3%A9ploiement%20encore%20plus%20ambitieux.>

## 5.7 Un public absent de la gouvernance des risques

Le processus de transition énergétique auquel nous assistons engage des transformations, certes, du côté de l'offre puisqu'il faut substituer les énergies carbonées à autre chose<sup>61</sup>, mais aussi et surtout du côté des utilisateurs. Il ressort des entretiens que l'acceptabilité de l'hydrogène par le public est dans tous les esprits des porteurs de projet, des pôles de compétitivité, de l'ADEME, de la DDTM, etc. Pour autant, à ce jour, le public est relativement absent de la gouvernance, *a fortiori* de la gouvernance des risques. En effet, autant les collectivités territoriales voient l'hydrogène comme un moyen de sensibiliser le citoyen à la transition énergétique et de le faire réfléchir aux futurs projets énergétiques locaux, autant il ressort des entretiens qu'elles n'ont pas encore trouvé les bonnes façons de le faire, ce qui va dans le sens des résultats de recherches académiques sur le sujet (voir par exemple Turmel, 2021).

Faire échanger des collectifs citoyens, des entreprises et des collectivités territoriales ne semble pas être chose aisée, d'autant que, comme nous l'avons exposé dans la partie 2.5.1., la gouvernance se joue au sein d'un système de relations sociales entre les acteurs établi depuis longtemps<sup>62</sup>. La renégociation des relations sociales à l'œuvre dans la cadre de la transition énergétique ne coule pas de source, surtout lorsqu'il s'agit pour un territoire de choisir le contenu de son mix énergétique et la place que l'hydrogène devrait y prendre, l'économie de certains collectifs d'acteurs pouvant être bouleversée par l'introduction d'autres énergies. La sécurité peut devenir, selon une personne interrogée d'un pôle de compétitivité, une sorte de bouclier, un argument, utilisé par les citoyens pour soutenir une conviction d'un autre ordre. A noter que certains acteurs de l'hydrogène (moyennes et petites entreprises) n'ont de toutes manières que très peu de rapports directs avec la société civile en dehors de travaux qu'elles réalisent avec ou pour les collectivités.

Enfin, il ressort des entretiens que l'utilisateur semble être considéré, par les acteurs, comme un simple usager destiné à recevoir une technologie, et non pas comme un acteur à la fois individuel et collectif susceptible de s'approprier une technologie afin de « co-construire » des réponses à ses problèmes (Dewey, 1983). Comme rappelé par Mazri (2007), le public est souvent vu comme ignorant et sujet à des biais et erreurs de jugements, tandis que les experts fournissent une connaissance objective et représentative de la vérité. Ce point est un aspect à étudier plus en détail dans de futurs travaux.

## 5.8 La perception du public du vecteur hydrogène

Les potentialités que paraît promettre une technologie peuvent ne pas toutes être réalisées, ou pas complètement, ou alors se révéler dans des temporalités plus ou moins longues. En effet, avant de voir le vecteur hydrogène transformer profondément la société, le déploiement d'une filière hydrogène dans les territoires nécessite la mise en relation d'un dispositif industriel et technique, en voie de développement, avec ses futurs usagers (Amand, Dobré, Lapostolle, Lemarchand, & Ngounou Takam, 2020; Evrard, 2014). Que les technologies de l'hydrogène deviennent accessibles ne signifie pas forcément qu'elles seront intégrées dans des pratiques et activités courantes au point de faire partie des évidences quotidiennes. Il est donc nécessaire de ne pas limiter la compréhension des possibilités de déploiement des technologies hydrogène uniquement au regard de ce qu'elle peut offrir sur un plan techno-scientifique. L'hydrogène est à la fois bien connu du plus grand nombre, mais sans qu'il ne soit réellement compris ce que son déploiement signifie vraiment, qu'il s'agisse des infrastructures ou des pratiques nécessaires à son fonctionnement (Turmel, 2021; Lévy, Lancrey-Javal, Hauser, & Omhovere, 2021). D'ailleurs, la question d'une future « inacceptabilité sociale de l'hydrogène », exprimée lors des entretiens par de nombreux porteurs de projets démontre d'une certaine inquiétude collective. Nous ne discuterons néanmoins pas ici du concept d'acceptabilité sociale, notion hautement controversée dans le domaine académique<sup>63</sup>, pour nous concentrer sur les résultats de recherches et étude très récentes sur la façon dont le vecteur hydrogène est perçu par les citoyens français.

Une énergie produite à partir de ressources fossiles ou renouvelables ne renvoie pas aux mêmes imaginaires ni aux mêmes modèles de société (Raineau, 2011). Le bois-énergie est, par exemple, une

---

<sup>61</sup> Tout en menant en parallèle des actions pour diminuer la consommation d'énergie.

<sup>62</sup> A noter que l'INERIS a publié en 2011 le Guide des pratiques d'association et de concertation dans le cadre des PPRT. Un travail similaire pourrait être un produit de sortie de cette étude et de ses prolongements.

<sup>63</sup> Dans le cadre de la veille scientifique, l'INERIS a initié un état des connaissances dans le domaine de la perception et l'acceptabilité des risques en 2021.

énergie vue comme autonome puisque la biomasse se renouvelle, frugale car limitée en puissance et conviviale étant donné qu'il produit du lien social et qu'il est territorialisé (Lemarchand, 2021). Inversement, le nucléaire est considéré comme une technologie hétéronome puisqu'elle dépend de sources d'approvisionnement extérieures et de ressources limitées, difficilement appropriable par les citoyens et destinée au plus grand nombre via le réseau électrique national. Une étude menée récemment au sein du *living lab* du « Le Dôme » à Caen<sup>64</sup> a montré l'existence de deux grands types d'imaginaires sociaux autour de l'hydrogène (Lemarchand, 2021) : d'une part, l'imaginaire de la continuité énergétique basée sur une société de consommation dans laquelle on remplacerait le pétrole par l'hydrogène. L'hydrogène apparaît ainsi comme un moyen d'assurer une certaine continuité, en garantissant aux acteurs institutionnels déjà présents la poursuite de leur monopole et aux consommateurs, le confort dont ils profitent déjà. D'autre part, un imaginaire de rupture ou d'altérité plus ou moins radical, qui suppose, appelle et désire des changements « en profondeur » dans la manière de penser le rapport à l'énergie, de sa production à sa consommation. Selon l'auteur, on voit donc ici apparaître le paradoxe attaché à l'hydrogène : « le vecteur énergétique devient ici le moyen d'une bifurcation sociotechnique radicale ouvrant sur des possibilités nouvelles en lien étroit avec le territoire » (Lemarchand, 2021, p. 8).

Dans le cadre du projet AIDHY<sup>65</sup>, auquel l'Ineris a participé, une étude de l'acceptabilité sociale a été menée en vue d'établir des scénarios pré et post introduction d'hydrogène (Kpoumié, 2013). Cette modélisation s'appuyait sur une prise en compte d'éléments quantitatifs et qualitatifs de la perception de l'hydrogène de la part du grand public. L'acceptabilité était étudiée à partir de focus-groupes, d'une dizaine de personnes chacun, permettant de mettre en avant les enjeux et les engagements des acteurs concernés par l'introduction d'hydrogène dans la mobilité individuelle. Les acteurs en question étaient les industriels, les autorités publiques, les associations, ainsi que le grand public (utilisateurs de l'hydrogène, riverains et citoyens). L'auteur a analysé des données qualitatives basées sur les croyances, les préférences et le jugement des personnes interrogées. Nous ne reprendrons ici que les résultats concernant le grand public. Dans sa thèse, Kpoumié a montré que les intérêts du public sont davantage axés sur les usages et leurs conséquences. Pour les utilisateurs de véhicules à hydrogène, il s'agit avant tout de réduire les coûts, d'améliorer l'autonomie du véhicule, son confort et sa sécurité, que ce soit pour des véhicules individuels, le transport en commun, les appareils portables ou une utilisation personnelle. Concernant les riverains, il s'agit de limiter les nuisances et d'augmenter la sécurité, que ce soit pour la production, le stockage, le transport ou l'usage domestique. Enfin, pour les citoyens, les préoccupations environnementales sont fortes (limiter les changements climatiques et les déchets nucléaires), ceux-ci souhaitant augmenter leur niveau de connaissance sur l'hydrogène et de confiance envers les porteurs de projets, notamment pour le respect des normes nationales et européennes.

Turmel (2021), qui a observé les réactions du public exposé au potentiel de la technologie hydrogène lors de l'approche *Living lab* présentée plus haut et lors d'ateliers Plan climat air énergie sur l'ancien territoire Haut-Normand, a pu constater que la technologie hydrogène bénéficie d'un *a priori* extrêmement favorable, parce qu'elle semble « propre », « inépuisable », « renouvelable », « en accord avec les convictions personnelles » ou parce qu'elle offre l'espoir d'une « autre répartition des richesses ». Toutefois, cette image positive ne se suffit pas à elle-même, la dimension providentielle de l'hydrogène pouvant effrayer. L'auteur explique aussi que la volonté des porteurs de projet hydrogène de forcer le déploiement de solutions hydrogène pourrait être source de refus de la part des usagers. Il considère qu'il serait plus pertinent de développer des politiques de co-construction pour faire émerger les meilleures solutions technologiques à même de répondre aux besoins environnementaux du territoire, sans idées préconçues sur la technologie. De ces politiques de co-construction pourrait alors émerger l'hydrogène puisque cette technologie semble répondre à de très nombreux besoins. Ainsi, Turmel va dans le sens de Dupuis (2019) et considère qu'une implantation co-construite des technologies de l'hydrogène avec les utilisateurs pourrait favoriser la temporalité de leur implantation. Cette opposition entre un déploiement uniquement guidé par la technologie (technocentrisme), et un

---

<sup>64</sup> Le *living lab* a organisé une série d'ateliers participatifs dont l'objectif premier était une co-problématisation des usages de l'hydrogène dans le cadre de la transition énergétique à travers des *serious game* et la conception de scénarios d'usage (Amand, Dobré, Lapostolle, Lemarchand, & Ngounou Takam, 2020).

<sup>65</sup> Le projet Alde à la Décision pour l'identification et l'accompagnement aux transformations sociétales induites par les nouvelles technologies de l'Hydrogène (AIDHY) avait pour objectif de comprendre les positions de l'opinion publique pour mieux les prendre en compte lors du développement des technologies de l'hydrogène.

déploiement intégrant les différents contextes d'usages (anthropocentrisme) est classique, y compris quand il s'agit de sécuriser des process et les interactions entre ce process et les différents acteurs qui contribuent à sa mise en œuvre. Ainsi, l'hydrogène se retrouve être à l'instar d'autres domaines techniques (comme le nucléaire, l'aviation), le lieu de telles tensions.

Dans sa thèse qui avait pour terrains d'étude les projets Navibus H2 à Nantes et HyWay à Lyon, Dupuis (2019) a démontré que la plupart des enquêtés emprunteraient des transports en commun fonctionnant avec de l'hydrogène, mais se montrent plus réservés sur une éventuelle utilisation à leur domicile et expriment le souhait de mieux comprendre ses particularités et ses avantages avant de se prononcer. Il a aussi montré que les individus sont plus aptes à évaluer objectivement un projet une fois le projet compris et l'intérêt personnel éveillé. Si ces étapes ne sont pas respectées, il risque d'avoir l'impression que le projet lui est imposé et dans ce cas, il peut faire appel aux représentations de son entourage pour forger son opinion et ainsi être exposé au biais de représentativité (Bronner, 2012). Selon l'auteur, un territoire qui souhaite accueillir un projet lié à l'hydrogène aurait ainsi tout intérêt à intégrer une étude d'acceptabilité sociale du projet en question, afin d'anticiper les dynamiques sociales à l'œuvre. (Dupuis, 2019).

L'institut de sondages Harris Interactive a mené en mai 2021 pour Terega une enquête sur les Français et l'hydrogène, dont l'objectif était de sonder la notoriété, la compréhension et l'image de ce vecteur énergétique. Deux méthodes complémentaires ont été déployées : Des focus groupes et une enquête auprès d'un échantillon représentatif. Les focus groupes permettaient de creuser en profondeur les représentations, prenant le temps d'aller au-delà des postures pour comprendre ce qui structure les attitudes et les opinions des Français. L'enquête par questionnaire en ligne s'est déroulée du 6 au 10 mai 2021 auprès d'un échantillon de 1052 personnes représentatif de la population française âgée de 18 ans et plus. Les principaux enseignements sont tout d'abord que 31% des Français interrogés déclarent voir très bien ce qu'est l'hydrogène en tant qu'énergie, 53% indiquent en avoir plutôt une bonne image et 39% indiquent ne pas être assez renseignés pour indiquer une opinion. 86% de ceux qui émettent un avis sur l'hydrogène projettent sur lui un regard positif, notamment car qualitativement, il est associé aux énergies d'avenir. L'intérêt de cette étude réside dans sa méthodologie, puisqu'elle a consisté à fournir aux sondés des explications sur le fonctionnement du vecteur hydrogène après les premières questions. Les explications portaient sur les principales étapes du processus de production et le rôle des énergies renouvelables dans l'électrolyse de l'eau et dans le caractère *in fine* complètement décarboné de l'hydrogène. A la suite de cette mise à niveau, les répondants sont 86% à considérer que le développement de la recherche sur l'hydrogène est une bonne chose, manifestant à la fois des espoirs quant à ses promesses (énergie propre et durable, utile pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub>) et de nombreuses interrogations sur son fonctionnement (production actuelle à partir d'énergies fossiles, dangerosité, coût, etc.), qui apparaît pour eux encore très complexe. Ainsi, l'étude montre qu'à l'heure actuelle, le vecteur hydrogène n'a pas vraiment d'image, qu'il bénéficie d'un a priori positif, qu'il est vu comme une énergie propre, renouvelable, non polluante sans que les citoyens sachent réellement d'où leur vient cette idée. Mais elle est aussi porteuse d'une image de danger, par assimilation au GPL (parce que l'hydrogène est lui aussi un gaz), à la « bombe H/à hydrogène », à l'image de bonbonnes. Au-delà de la promesse, il ressort de l'étude que l'appropriation de la problématique du vecteur hydrogène est ressentie comme complexe et donne le sentiment de ne pas pouvoir être digérée en quelques dizaines de minutes, voire, de ne pas être à la portée de tout un chacun. Il ressort aussi que les répondants découvrent pour la plupart l'existence de longue date de l'hydrogène gris, et la quasi-inexistence de l'hydrogène bas carbone, ce qui fait que la promesse environnementale s'en retrouve fortement brouillée et perd en crédibilité. L'électrolyse de l'eau est perçue comme prometteuse, mais tous ont bien retenu qu'il s'agissait d'une technique présentée comme coûteuse et dont le rendement est faible. Les résultats montrent aussi une image d'une filière où tout reste à faire, sans la perception d'une politique proactive sur le sujet, et donc le sentiment dominant que « ce n'est pas pour demain ». Ainsi, les particuliers se projettent mal dans le recours à cette nouvelle énergie, de fait de la complexité du système, de l'image de dangerosité de l'hydrogène et du coût pour l'utilisateur final qui semble prohibitif, qu'il s'agisse d'un particulier ou d'une collectivité locale. A la suite des explications données, la pertinence même du recours à l'hydrogène peut être remise en cause par les sondés. En effet, les processus de production, de distribution et d'usage prennent une dimension « usine à gaz », tant le nombre d'étapes semble complexe et important et certains perdent au passage la compréhension de la nécessité d'un si grand nombre d'étapes.

Une étude très récente sur l'acceptabilité sociale du stockage souterrain de l'hydrogène a été menée dans le cadre d'un projet de recherche ROSTOCK-H<sup>66</sup> par Le Barbier et Agnoletti (INERIS, 2021), utilisant la méthodologie du questionnaire diffusé en ligne. Les résultats de l'étude ont montré que sur les 176 participants, 85,2% accordent de l'importance aux problèmes environnementaux tels que le réchauffement climatique, la pollution de l'air, l'épuisement des énergies fossiles ou encore la nécessité du développement d'énergies renouvelables et 79,5% estiment que l'hydrogène pourrait avoir un impact positif dans le cadre du mix énergétique. Pour ce qui est des effets sur la population d'une infrastructure de stockage souterrain d'hydrogène, 28,4% estiment qu'il pourrait y avoir des dangers inhérents à l'infrastructure alors que 71,6% estiment qu'ils seront en sécurité. Les résultats de l'étude montrent aussi que l'acceptabilité sociale du stockage souterrain de l'hydrogène est dépendante des connaissances des individus de l'infrastructure du stockage et des applications attendues et, à défaut de connaissances, des affects<sup>67</sup> (positifs ou négatifs) ressentis, de la confiance accordée aux différents partis politiques, de l'impact environnemental, de l'utilité pour la planète et l'individu, ainsi que des normes sociales en vigueur. Ceci explique que les résultats de l'étude aient montré que 70,5% des individus de l'échantillon sondé aient une attitude<sup>68</sup> favorable au stockage souterrain de l'hydrogène, mais 62,5% déclarent être défavorables envers l'installation réelle et concrète d'un tel stockage. En effet, les attitudes ne permettent pas de prédire, à elles seules, une intention comportementale et, de fait, une acceptation sociale *a priori*. Dans le cas présent, le genre des individus et leur familiarité avec l'objet ont été relevés comme étant des variables interindividuelles ayant des effets directs sur l'acceptabilité sociale. De plus, les facteurs interindividuels comme la confiance accordée, les affects, les connaissances, l'importance perçue de l'hydrogène et les normes sociales sont apparus comme des leviers sur lesquels il faut agir pour modifier la perception des individus vis-à-vis du stockage souterrain de l'hydrogène afin d'améliorer son acceptabilité sociale. A titre d'illustration, il ressort de l'étude que lorsque les participants ont de bonnes connaissances sur l'hydrogène, ils sont plus confiants envers les scientifiques, perçoivent l'utilité de l'hydrogène comme plus importante et ressentent plus d'affects positifs que les personnes ayant peu de connaissances.

---

<sup>66</sup> Le projet de recherche ROSTOCK-H, intitulé « Risques et Opportunités du STOCKage géologique d'Hydrogène en cavités salines en France et en Europe », a été subventionné par le Groupement d'Intérêt Scientifique GEODENERGIES de 2016 à 2021. Il a visé à améliorer les connaissances sur les phénomènes mis en jeu dans le stockage souterrain d'hydrogène en cavités salines, dans le but de permettre son optimisation et son fonctionnement en toute sécurité. Les conditions technico-économiques, réglementaires et sociales pour le déploiement de la technologie en France et en Europe ont également été étudiées.

<sup>67</sup> Définition d'affect : « état affectif, pénible ou agréable, vague ou qualifié, qu'il se présente sous la forme d'une décharge massive ou comme tonalité générale » (Laplanche & Pontalis, 1967).

<sup>68</sup> La notion d'attitude est définie par Eagly et Chaiken (1993) comme une tendance psychologique exprimée en évaluant une entité particulière avec un degré de faveur ou de défaveur.

## 6 Conclusion

L'objectif de l'étude exploratoire était d'apporter des premiers éléments sur la gouvernance des risques dans le domaine de l'hydrogène. Le cadre conceptuel dans lequel s'inscrit l'étude est celui de la transition énergétique, de la gouvernance et de la gouvernance/régulation des risques.

Le déploiement de l'hydrogène en France, dans le cadre de la transition énergétique, est impulsé, facilité et piloté par l'Etat, qui utilise à la fois la persuasion et le pouvoir réglementaire. L'Etat, dans son rôle de chef d'orchestre de la transition énergétique, donne un rôle primordial aux régions et collectivités territoriales qui, à leur tour, pilotent et coordonnent à leur niveau le déploiement de l'hydrogène au sein de solutions de mix énergétique. C'est en ce sens que l'on peut parler de gouvernance multiscale de l'hydrogène, notamment permise par un cadre réglementaire qui encourage la territorialisation de la transition énergétique. A noter que dans le domaine de l'industrie utilisant historiquement l'hydrogène, les régions et collectivités territoriales ne sont pas impliquées, ce sont les industriels qui directement cherchent à impulser le déploiement de l'hydrogène pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre.

Les acteurs impliqués dans la transition énergétique et plus particulièrement dans l'hydrogène sont nombreux et présents à toutes les échelles, de l'Etat jusqu'aux citoyens, en passant par les entreprises, les organismes de recherche et les services de secours. Il existe de fortes interactions entre certains de ces acteurs autour de la maîtrise des risques des « projets hydrogène ». Ces interactions ont notamment lieu au sein de France Hydrogène, une instance d'échanges et de partage privilégiée par les acteurs. Les DREAL sont, quant à elles, sollicitées par les porteurs de « projets hydrogène », qu'ils soient privés, publics ou des citoyens engagés dans la transition énergétique (ou par leurs représentants, les bureaux d'études), ce qui leur permet de questionner la maîtrise des risques au sein des projets. Ces échanges, ainsi que l'expertise des DREAL sur la maîtrise des risques et les réglementations afférentes, semblent primordiaux pour la maîtrise des risques au sein du déploiement de la filière hydrogène, puisqu'ils participent à la sensibilisation des porteurs de projets aux risques liés à l'hydrogène et à la réglementation afférente et qu'ils permettent de réaxer certains projets dès leurs phases amont, ce qui peut avoir, par exemple, des impacts en matière de choix technologique, d'implantation ou de taille du projet.

Les acteurs qui gravitent autour du vecteur hydrogène ont des approches et des pratiques de gestion des risques technologiques différentes : Des grands groupes industriels, qui ont une certaine culture du risque<sup>69</sup>, même s'il ne s'agit pas forcément du risque hydrogène, jusqu'aux collectivités territoriales et aux citoyens engagés qui ne semblent pas toujours avoir l'habitude de considérer une démarche de maîtrise des risques. Tous les acteurs ont exprimé, lors des entretiens, le fait que la gestion des risques et la sécurité sont primordiales. Tous ne mettent néanmoins pas les mêmes significations derrière le terme « risque ». Tandis que pour certains il s'agit des problèmes d'acceptabilité du public, pour d'autres il s'agit de bien connaître les dangers liés à la molécule hydrogène. Il s'agit aussi pour certains de gérer les interfaces au sein des écosystèmes hydrogènes, qui pourraient être un gisement de risques, ou encore pour d'autres, de bien connaître la réglementation applicable. A ce sujet, la réglementation sur l'hydrogène existe, mais elle n'est pas toujours adaptée aux nouveaux usages de l'hydrogène. L'adaptation en cours de la réglementation sur l'hydrogène est le sujet principal qui occupe actuellement les esprits des différents acteurs. Elle est pilotée par la DGEC et la DGPR, qui associent France hydrogène ainsi que d'autres organisations professionnelles. Une feuille de route co-signée par la DGPR et France Hydrogène en 2021 permet de disposer d'une vision nationale commune sur les projets en cours de développement et à quel horizon ainsi que d'identifier les éléments attendus de la part de la filière pour pouvoir faire évoluer le cadre réglementaire.

Les risques technologiques liés à l'hydrogène sont abordés au sein de France Hydrogène dans le cadre du GT réglementation, qui a pour vocation de remonter auprès de la DGPR les éléments faisant consensus chez les porteurs de projets membres de France hydrogène en matière d'évolution réglementaire. Il s'opère au sein de ce GT ce qu'il semble être une régulation informelle, c'est-à-dire

---

<sup>69</sup> La culture sécurité, très discutée dans le monde académique (Le Coze, JC. 2019. How safety culture can help us think. Safety Science. 118. 221-229), est définie par l'Institut pour une Culture de Sécurité Industrielle (ICSI), comme un ensemble de manières de faire et d'agir partagées, qui permet de maîtriser les risques les plus importants de l'activité. Elle ne se décrète pas, mais se construit et s'éprouve au quotidien dans les discours et les actes (Groupe de travail de l'ICSI « Culture de sécurité », 2017). Ainsi, chaque entreprise, chaque secteur doit gérer des enjeux variés (tels que la qualité, les finances, la sécurité, etc.) et rencontre différents types de risques. Il s'agit alors de voir quelle place l'organisation ou le secteur donne à la sécurité parmi tous ces enjeux, notamment lors des arbitrages.

que les acteurs avec le plus de poids (en terme économique, de connaissances préalables sur l'hydrogène, etc.) sensibilisent les « nouveaux entrants » aux risques afférents au vecteur hydrogène, ceci pour rendre pérenne le devenir de la filière. Cette régulation, bien que pertinente du point de vue de la gouvernance des risques, est aléatoire en termes de qualité et de cohérence des messages diffusés, ce qui amène plusieurs personnes interviewées à souhaiter que les risques soient plus spécifiquement discutés au sein de France hydrogène, ce qui permettrait aussi d'envisager la sécurité comme étant plus que la seule déclinaison de la réglementation.

Une grande partie des porteurs de projets interrogés ont recours à des experts ou des bureaux de consultants extérieurs pour faire les analyses de risques, soit parce que n'ayant pas les effectifs, soit parce que n'ayant pas les compétences de le faire en interne, soit pour valider les mesures de maîtrise des risques envisagées. Pour le cas où c'est une raison de compétence interne, on peut constater une sorte d'externalisation de la prise en compte des risques vers des dépositaires considérés comme plus experts que le donneur d'ordre. Cette expertise externe peut comporter des risques si elle n'est pas assimilée par les porteurs de projets ; elle peut aussi comporter des avantages car elle permet de nourrir les dynamiques d'apprentissage et d'éclairer certaines décisions. Concernant les dynamiques d'apprentissage, le retour d'expérience (REX), outil essentiel du management de la sécurité, a déjà été mis en place chez certains acteurs. Il n'existe néanmoins pas, à ce jour, de partage de retour d'expérience formalisé au sein de la filière hydrogène en matière de sécurité. Une réflexion pourrait être menée pour compléter ce que fait le BARPI en permettant le partage du REX au sein de tous les acteurs de la filière hydrogène en France.

Enfin, le public est à ce jour relativement absent de la gouvernance, *a fortiori* de la gouvernance des risques. L'utilisateur des technologies de l'hydrogène semble être considéré par les porteurs de projets comme un simple usager destiné à recevoir une technologie, et non pas comme un acteur susceptible de s'approprier une technologie afin de «co-construire » des réponses à ses problèmes. Les résultats d'études récentes sur la perception et l'acceptabilité du vecteur hydrogène par le public français invitent pourtant les porteurs de projet à se saisir dès maintenant du sujet.

## 7 Références

- ADEME. (2015). *Guide d'information sur les risques et les mesures de sécurité liés à la production décentralisée d'hydrogène*.
- Amand, R., Dobré, M., Lapostolle, D., Lemarchand, F., & Ngounou Takam, E. (2020). Faire de la recherche collaborative : quelle sociologie dans le cadre d'un Living lab ? *SociologieS*.
- Amand, R., Ducoulombier, P., & Millet, F. (2021). Transition énergétique et hydrogène : le Living Lab ou l'ébauche d'une recherche participative. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*.
- Aykut, S., & Evrard, A. (2017). Une transition pour que rien de change ? Changement institutionnel et dépendance au sentier dans les "transitions énergétiques" en Allemagne et en France. *Revue internationale de politique comparée*, pp. 17-49.
- Beck, U. (1986). *La société du risque. Sur la voie d'une autre modernité (Risikogesellschaft)*. Flammarion.
- Bento, N., & Angelier, J.-P. (2009). *La transition vers l'hydrogène est-elle bloquée par un verrouillage technologique au profit des énergies fossiles ?* Grenoble: LEPII.
- Bourg, D. (2021). Ecologie et civilisations. Fin d'un monde et nouvelles perspectives. *Futuribles*, pp. 33-44.
- Boussaguet, L., Jacquot, S., & Ravinet, P. (2004). A quoi sert la notion de secteur ? *Communication au pôle Action Publique, CEVIPOF*. Paris.
- Bronner, G. (2012). Perception du risque et précautionnisme. *Revue de métaphysique et de morale*, pp. 531-547.
- Calame, P., & Ziaka, Y. (2015). Les biens communs et l'éthique de la responsabilité. *Éthique publique*, vol. 17, n° 2.
- Carcaly, G. (2021). Nouveaux usages : attention à la précipitation - Dossier : L'hydrogène en lumière. *Face au risque*, 45-49.
- Carré, F., Adam, K., Cointe, R., Gentilhomme, O., Brugidou, M., Guillaume, O., . . . Villeneuve, J. (2020). Les leviers d'action pour un mix énergtique propre et sûr au service de la transition énergétique dans les territoires. *Responsabilité & Environnement - Annales des Mines*, pp. 92-95.
- CEA. (2013). Récupéré sur L'hydrogène, un vecteur d'énergie: <https://www.cea.fr/multimedia/Documents/publications/livrets-thematiques/livretHydrogene2013-web.pdf>
- Christen, G. (2017). La transition écologique : des modèles diversifiés et contrastés à l'échelle régionale. Le cas de l'Alsace dans la région du Rhin-Supérieur. *Norois*.
- Christen, G., & Hamman, P. (2014). Des inégalités d'appropriation des enjeux énergétiques territoriaux ? Analyse sociologique d'un instrument coopératif autour de l'éolien "citoyen". *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*.
- CNI. (2018). *Contrat stratégique de la filière - Industries des nouveaux systèmes énergétiques 2019 - 2021*. Récupéré sur [file:///C:/Users/Nouailles-mayeur/Documents/INERIS/REFERENCES/TE/contrat\\_strategique\\_de\\_la\\_filiere\\_industries\\_n\\_vx\\_syst\\_energetiques.pdf](file:///C:/Users/Nouailles-mayeur/Documents/INERIS/REFERENCES/TE/contrat_strategique_de_la_filiere_industries_n_vx_syst_energetiques.pdf)
- Comité de prospective de la CRE. (Juin 2021). *Le vecteur hydrogène*. Récupéré sur <https://www.eclairerlavenir.fr/wp-content/uploads/2021/06/GT4-Rapport-final-Hydrog%C3%A8ne.pdf>
- Damette, O., Cremel, M., Demaie, H., & Lemoine, F. (2020). Les enjeux économiques de la filière hydrogène : une solution pour la transition énergétique ? *Mondes en développement*, pp. 89-101.
- Debray, B., Weinberger, B., & INERIS. (2021). *Guide pour l'évaluation de la conformité et la certification des systèmes à hydrogène*. Récupéré sur <https://www.ineris.fr/fr/ineris/actualites/certification-systemes-hydrogene-publication-guide>

- Dewey, J. (1983). *The Public and its Problems (1927)*, repris dans *John Dewey. The Later*, vol. 2. University Press: Jo Ann Boydston et associés, Carbondale, Southern Illinois.
- DGEC. (2020). *Présentation ppt de la DGEC sur "Présentation de la Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France"*.
- Dobigny, L. (2012). Produire et échanger localement son énergie. Dynamiques et solidarités à l'oeuvre dans les communes rurales. Dans F. Papy, *Nouveaux rapports à la nature dans els campagnes* (pp. 139-152). Editions Quae.
- Dupuis, N. (2019). *Thèse de doctorat : L'acceptabilité sociale de l'hydrogène et son processus de co-construction, un enjeu pour la transition énergétique dans les territoires*. Université du Littoral Côte d'Opale.
- Durville, J.-L., Gazeau, J.-C., Nataf, J.-M., Cueugnet, J., & Legait, B. (2015). *Filière hydrogène-énergie*. Paris: Conseil général de l'environnement et du développement durable.
- Eagly, A., & Chaiken, S. (1993). *The psychology of attitudes*. Orlando, FL: Harcourt Brace Jovanovich College Publishers.
- Evrard, A. (2014). Les énergies renouvelables et l'électricité. A propos d'un conflit entre un secteur et une alternative de politique publique. *Energie & politique*, pp. 67-80.
- Fra.Paleo, U. (2015). Introduction. Dans U. Fra.Paleo, *Risk Governance. The articulation of Hazard, politics and ecology* (pp. 1-16). Springer.
- Futuribles, RTE, Caisse des Dépôts. (2018). *Observatoire prospectif des stratégies de transition énergétique des territoires - L'émergence de nouveaux modèles énergétiques ?* Récupéré sur [https://www.futuribles.com/media/uploads/observatoire\\_transition\\_energetique\\_livrable\\_final.pdf](https://www.futuribles.com/media/uploads/observatoire_transition_energetique_livrable_final.pdf)
- Galland, J.-P. (2010, 3 81). Critique de la notion d'infrastructure critique. *Métropolis - Flux*, pp. 6-18.
- Gérardin, H., & Damette, O. (2020). Quelle transition énergétique, quelles croissance et développement durables pour une nécessaire transition écologique ? Présentation. pp. 7-23.
- Gordon, A., Bouchard, M., & Olivier, V. (2019). *Consom'acteur : Définition*. *Dictionnaire d'Agroécologie*, <https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/consomacteur/>.
- Groupe de travail de l'Icsi « Culture de sécurité ». (2017). *La culture de sécurité: comprendre pour agir. Numéro 2017-01 de la collection les Cahiers de la sécurité industrielle*. Toulouse, France: Institut pour une culture de sécurité industrielle.
- Haëntjens, J. (2020). Les obstacles à la transition énergétique. *Futuribles*.
- Hamman, P. (2018, 175). Echelles, territoires et stratification sociale de la "transition énergétique". *Espaces et société*, pp. 189-197.
- INERIS. (2014). *Benchmark stations services hydrogène - Rapport d'étude DRA-14-141532-06227C*.
- INERIS. (2015). *Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (EAT-DRA-76) - Etude dangers d'une installation classée - OMEGA 9*.
- INERIS. (2016). *Etude comparative des réglementations, guides et normes concernant les électrolyseurs et le stockage d'hydrogène - rapport d'étude n°DRA-15-149420-06399C*.
- INERIS. (2017). *Guide de l'ingénierie des facteurs organisationnels et humains (FOH) OMEGA 30 - Rapport d'étude N° DRA-17-164428-04874A*.
- INERIS. (2019). *Enjeux de sécurité liés à l'injection d'hydrogène dans les réseaux de transport et distribution de gaz naturel : état des lieux et perspectives - Rapport d'étude N° DRA-19-178263-01884B*.
- INERIS. (2019). *Inspection du SGS dans une installation classée - Rapport Ineris-DRA-17-164428-03163B*.
- INERIS. (2020). *Descriptif du programme d'appui EAT-DRA-06*.
- INERIS. (2020). *Note TE DRA06 HUGO - L'organisation de la maîtrise des risques sociotechniques dans le cadre de la transition énergétique*.

- INERIS. (2020). *Présentation des travaux de pré-normalisation sur l'injection d'hydrogène dans les infrastructures de gaz naturel en France et en Europe - Rapport Ineris - 200338 - 2147417 - v1.0.*
- INERIS. (2020). *Rapport final du projet exploratoire sur le positionnement de l'INERIS sur la transition énergétique dans les territoires - Rapport Ineris-181616-DSE-19-181616-06725A.*
- INERIS. (2020). *Travaux pour soutenir la gouvernance des risques dans les territoires dans le contexte de la transition énergétique.* Verneuil-en-Halatte : Ineris - 200341.
- INERIS. (2021). *Cartographie des activités de l'Ineris dans le domaine de l'hydrogène. Rapport Ineris-205742-2707939-v0.4.*
- INERIS. (2021). *Etat des connaissances sur le stockage de l'hydrogène en cavité saline et apport du projet ROSTOCK-H. Livrable L6.3 du projet ROSTOCK-H.*
- Jaguenaud, B. (2021). Risque incendie et intervention sur un jet d'hydrogène enflammé. Dossier : L'hydrogène en lumière. *Face au risque*, n°574, 50-53.
- Jammes, L. (2021). Regards croisés sur les feuilles de route hydrogène de trois pays : le Canada, Le Japon et la France. Quels enseignements ? *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement.*
- Khosrokhavar, F. (2001). *La gouvernance et la place du politique. Gouvernance, État et société. La démocratie à l'épreuve de la gouvernance.* Ottawa: Les Presses de l'Université.
- Kpoumié, A. (2013). *Modèle intégré de structuration et d'évaluation des scénarios des technologies de l'hydrogène du point de vue de l'acceptabilité sociale.* Thèse de doctorat. Université Paris Dauphine.
- La Branche, S. (2009). L'insoutenable légèreté environnementale de la participation : une problématisation. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement.*
- La Branche, S., & Bosboeuf, P. (2017). La prise en main de l'énergie par les collectivités territoriales : freins et moteurs. *Revue Environnement Urbain.*
- Lacroix, I., & St-Arnaud, P.-O. (2012). La gouvernance : tenter une définition. *Cahiers de recherche en politique appliquée*, pp. 19-37.
- Laigle, L. (2014). *Une mise en mouvement de la transition écologique par la société civile ? Approches, enjeux et perspectives.* Récupéré sur <https://hal-cstb.archives-ouvertes.fr/hal-01515559/document>
- Laigle, L. (2018). Le citoyen dans la transition écologique. Dans A. Grisoni, & R. Sierra, *Transition écologique et durabilité : politiques et acteurs / Nachhaltigkeit und Transition : Politik und Akteure.* Campus verlag.
- Laplanche, J., & Pontalis, J.-B. (1967). *Vocabulaire de la psychanalyse.* PUF.
- Lapostolle, D. (2021). Analyser les trajectoires territoriales de transition énergétique. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement.*
- Laville, M., & Leneveu, J. (2014). La transition énergétique : analyse d'un point de vue psychologique. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement.*
- Le Coze, J. C., Boutillon, M., Macron, T., Vallée, A., Masse, F., Plot, E., & Mazri, C. (2020, Octobre 12-15). Transitions et analyses de risques : défis et perspectives. *22ème Congrès de la Maîtrise des Risques et Sûreté en Fonctionnement.* Le Havre.
- Le Duigou, A., Quéméré, M.-M., Marion, P., Menanteau, P., Decarre, S., Sinegre, L., . . . Alleau, T. (2013). Hydrogen pathways in France: results of the HyFrance3 Project. *Energy Policy*, pp. 1562-1569.
- Lemarchand, F. (2017). *Risques technologiques et environnement.* Récupéré sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01928749>
- Lemarchand, F. (2021). La place de l'imaginaire technique dans la transformation de systèmes sociotechniques. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement.*

- Létourneau, A. (2009). Les théories de la gouvernance. Pluralité de discours et enjeux éthiques. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*.
- Lévy, J.-D., Lancrey-Javal, G., Hauser, M., & Omhovere, M. (2021). *Les Français à la découverte de l'hydrogène - baromètre - Edition 2021*.
- Loi française no 2015-992 . (2015). Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte.
- Lopez, F. (2019). *L'ordre électrique. Infrastructures énergétiques et territoires*. Genève: MétisPresses.
- Lopez, F. (2019). L'effondrement des grandes infrastructures: une opportunité ? *Multitudes*, pp. 70-77.
- Mazaud, C., & Pierre, G. (2019, 82). Un territoire rural dans la transition énergétique: entre démarche participative et intérêts particuliers. *Lien social et Politiques*, pp. 118-138.
- Mazri, C. (2007). *Apport méthodologique pour la structuration de processus de décision publique en contexte participatif. Le cas des risques industriels majeurs en France*. Thèse.
- Meunier, G., & Ponssard, J.-P. (2020). Quelles politiques publiques pour la filière hydrogène ? Les enseignements tirés du cas des bus urbains. *Institut des Politiques Publiques - Note IPP n°55*.
- Millet, F., & Ducoulombier, P. (2021). Living Lab de recherche et médiation scientifique: une tentative d'innovation populaire. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*.
- MTE. (2019). *Stratégie française pour l'énergie et le climat (synthèse) - Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023 & 2024-2028*. Récupéré sur <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Synth%C3%A8se%20finale%20Projet%20de%20PPE.pdf>
- Muller, P. (2005). Esquisse d'une théorie du changement dans l'action publique. Structures, acteurs et cadres cognitifs. *Revue française de science politique*, pp. 155-187.
- Ngounou Takam, E. (2021). Technologies de l'hydrogène comme vecteur de reconfiguration (géo)politique. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*.
- Norme ISO 9241-11:2018. (s.d.). Ergonomie de l'interaction homme-système : Partie 11 : Utilisabilité – Définitions et concepts.
- Papon, P. (2020). Le progrès technique, clef de la transition énergétique ? Quelles technologies, pour quelles filières, à quel horizon temporel ? *Futuribles*, pp. 23-39.
- Petit, F., Robert, B., & Rey, B. (2010). Protection des infrastructures critiques. p. 10. Récupéré sur Techniques de l'ingénieur.
- Radaelli, C. (2000). Logiques de pouvoir et récits dans les politiques publiques de l'Union européenne. *Revue française de science politique*, pp. 255-275.
- Raineau, L. (2011). Vers une transition énergétique ? *Natures Sciences Sociétés*, pp. 133-143.
- Renn, O., & Klinke, A. (2015). Risk governance and resilience: new approaches to cope with uncertainty and ambiguity. Dans U. Fra.Paleo, *Risk governance. The articulation of hazards, politics and ecology* (pp. 19-42). Springer.
- Rifkin, J. (2002). *L'Économie hydrogène : Après la fin du pétrole, la nouvelle révolution économique*. La Découverte.
- Rioux-Gobeil, F. (2021). *La gouvernance de la transition énergétique en France : dynamiques multipartites et territoriales*. Université du Québec à Montréal: Mémoire de maîtrise en sciences de l'environnement.
- RTE. (2020). *La Transition vers un hydrogène bas carbone. Atouts et enjeux pour le système électrique à l'horizon 2030-2035*. Paris.
- Rumpala, Y. (2013). Formes alternatives de production énergétique et reconfigurations politiques. La sociologie des énergies alternatives comme étude des potentialités de réorganisation du collectif. *Flux*, pp. 47-61.
- Sage, K., & Alouis, J. (2019). *Recherche-action : accompagnement de territoires en transition pour capitaliser sur les pratiques de conduite du changement dans les politiques publiques - rapport final de capitalisation*.

- Salles, D. (2009). Environnement : la gouvernance par la responsabilité ? *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*.
- Sierra, A., & Lewis, N. (2009). Gouvernance sur le territoire. Un regard attentif à la configuration du pouvoir. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*.
- Turmel, F. (2021). Doit-on s'attendre à un refus du déploiement de l'hydrogène ? Dynamique territoriale et transition énergétique. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*.
- van Asselt, M., & Renn, O. (2011). Risk governance. *Journal of risk research*, pp. 431-449.
- Vandelac, L., & Lemarchand, F. (2021). Introduction. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*.
- Vaysse, G. (2021). Hydrogène et mobilité : pour un développement en sécurité. *Face au risque*, 41-44.
- Venne, J. (2018). Gestion des données : la gouvernance, une boussole. *Gestion*, 43(2).
- Zalosh, R., & Short, T. (1978). *Comparative analysis of hydrogen fires and explosions incidents*. Norwood, MA: Factory Mutual Research Corp.

## 8 Annexes

Liste des annexes :

- Annexe 1 : Document envoyé en pièce jointe de chaque sollicitation pour un entretien

## Annexe 1 : Document envoyé en pièce jointe de chaque sollicitation pour un entretien

### Etude de la gouvernance des risques dans le domaine de l'hydrogène *Sollicitation pour un entretien*

#### **Contexte et objectif de l'étude**

La filière hydrogène est en plein essor en France comme en Europe. L'hydrogène possède en effet de nombreux atouts, en tant que vecteur énergétique, pour contribuer à la décarbonation de l'économie et permettre à la France d'atteindre l'objectif ambitieux d'une neutralité carbone d'ici 2050.

L'hydrogène est manipulé de longue date dans certains secteurs industriels (chimie, raffinage, etc.), qui ont acquis une maîtrise des propriétés de ce gaz et des risques associés, comme en atteste la faible accidentologie. L'extension de l'utilisation de l'hydrogène à de nouveaux usages, tels que la production de chaleur, la mobilité, le stockage des énergies renouvelables intermittentes ou la génération autonome d'électricité (pour des territoires non-connectés au réseau électrique), a conduit à l'arrivée de nouveaux acteurs de l'hydrogène, moins familiers avec les risques associés à cette substance. De plus, les nouveaux usages de l'hydrogène mentionnés s'insèrent dans un contexte de transition énergétique, et plus largement de transition écologique, qui n'a pas uniquement pour objectif le remplacement de sources d'énergie par d'autres, mais de transformer l'ensemble du réseau qui les exploite et les diffuse. On assiste ainsi à une décentralisation et à une territorialisation de la transition énergétique, impliquant une multitude d'acteurs, notamment locaux, ceci de manière plus appuyée que par le passé.

Les éléments de contexte présentés ci-avant amènent à s'interroger sur la gouvernance dans le domaine de l'hydrogène. La gouvernance est entendue, dans le cadre de cette recherche, comme un modèle d'élaboration et de mise en œuvre de l'action publique, qui se fonde sur la prise en compte d'une pluralité d'acteurs, sur un processus collectif de négociation qui oriente les décisions et les actions, et de légitimation à travers l'information, la consultation et la participation des citoyens (définition inspirée Lacroix et St-Arnaud, 2012)<sup>70</sup>. L'analyse de l'élaboration de la gouvernance en lien avec les nouveaux usages de l'hydrogène fait donc partie du scope de l'étude.

Le développement de l'hydrogène doit nécessairement prendre en compte les enjeux de sécurité, afin de prévenir des accidents qui pourraient mettre en danger des vies humaines, et de favoriser l'éventuelle acceptabilité sociale de l'hydrogène par la population. Ainsi, une attention particulière doit être portée à la prise en compte des risques et de leur éventuel cumul, donc à la gouvernance des risques<sup>71</sup>. L'implication des différents acteurs dans l'identification et/ou la gestion des enjeux de sécurité au sein de la gouvernance fait donc aussi partie du scope de l'étude.

Pour résumer, l'étude menée par l'INERIS, dans le cadre d'un programme d'appui au Ministère de la Transition Ecologique, a donc pour objectif de décrire et d'analyser la gouvernance des risques dans le domaine de l'hydrogène en France.

#### **Sollicitation pour un entretien**

La méthodologie d'étude se base principalement sur les sciences humaines et sociales et mobilise des méthodes qualitatives (entretiens et observations). Il est prévu d'échanger avec différents représentants des acteurs de la gouvernance de la filière hydrogène, notamment l'Etat, l'ADEME, l'INERIS, les régions, les collectivités territoriales, les communautés urbaines, les industriels et leurs représentants (France Hydrogène, pôles de compétitivité), les organismes de recherche et la société civile.

En tant qu'acteur de la filière hydrogène, nous vous sollicitons pour un entretien d'une durée d'une heure à une heure et demie environ. Les échanges tenus lors de l'entretien seront traités avec la plus stricte confidentialité.

---

<sup>70</sup> Lacroix, I. & St-Arnaud, P.-O. (2012). La gouvernance : tenter une définition. *Cahiers de recherche en politique appliquée*. IV(3), 19-37.

<sup>71</sup> Définition de la gouvernance des risques : "The various ways in which actors, individuals, and institutions, public and private, deal with risks surrounded by uncertainty, complexity and/or ambiguity" (van Asselt & Renn, 2011).

**Responsable scientifique de l'étude**

Pour toute question (avant, pendant et après l'entretien), vous pouvez contacter Anaïs Nouailles Mayeur, chercheuse et responsable scientifique de la recherche, INERIS, Unité Facteurs Humains et Gouvernance des Risques, Parc technologique Alata, BP2, 60550 Verneuil-en-Halatte, [anais.nouailles-mayeur@ineris.fr](mailto:anais.nouailles-mayeur@ineris.fr), tél : 03 44 55 62 47.

