



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des
transports, de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN
Section Recherche énergétique et Cleantech

Rapport final

La fourniture d'hydrogène vert par un pipeline haute pression



Source: © GHP 2024



Date: 25 juin 2024

Lieu: Berne

Prestataire de subventions:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Section Recherche énergétique et cleantech
CH-3003 Berne
www.ofen.admin.ch

Bénéficiaires de la subvention :

Gruyère Hydrogen Power SA
Rue de l'Etang 20, CH-1630 Bulle

Auteur(s):

Patrick Sudan, Directeur Gruyère Hydrogen Power SA, patrick.sudan@gruyere-energie.ch
Ludovic Favre, Chef unité ingénierie infrastructure chez Gruyère Energie SA, ludovic.favre@gruyere-energie.ch

Suivi du projet à l'OFEN:

Men.Wirz, Men.Wirz@bfe.admin.ch
Stefan Oberholzer, Stefan.Oberholzer@bfe.admin.ch

Numéro du contrat de l'OFEN: SI/502603-01

Les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions du présent rapport.



Zusammenfassung

Dieser Bericht beschreibt die Planungs- und Ausführungsschritte für eine Hochdruck-Wasserstofftransportleitung. Die Leitung wird auf öffentlichem Grund gebaut und verläuft unterirdisch unter einer Eisenbahnstrecke. Nach der Erläuterung des Hintergrunds dieses Industrieprojekts beschreibt der Bericht detailliert die Herausforderungen, die mit dem Bau verbunden waren.

Der Bericht beschreibt zunächst die administrativen Schritte, die zur Erteilung der Baugenehmigung führten. Ein Teil des Dokuments erläutert den rechtlichen Rahmen und die verfügbaren Referenzen, als das Projekt noch auf eine konkrete Antwort wartete. Das Thema entwickelte sich während der Umsetzung weiter, sodass die SVGW-Empfehlung H1000 veröffentlicht werden konnte.

Dann wurden aus technischer Sicht die Referenzen und Normen erläutert, die zur Dimensionierung der Leitung geführt haben. Und schliesslich aus wirtschaftlicher Sicht wurde ein Preis für Wasserstoff ermittelt und mit der Lösung einer Wasserstoffversorgung über die Strasse mit LKW-Trailern verglichen. Die Studie skizzierte die Scharnierwerte, ab denen der Bau einer Wasserstofftransportleitung trotz der hohen Investitionen attraktiver ist als die Übertragung auf der Strasse.

Es wurde eine Einschätzung zu den administrativen, technischen und wirtschaftlichen Aspekten für den Bau dieser Hochdruck-Wasserstofftransportleitung getroffen. Aus administrativer Sicht hätte die Veröffentlichung der SVGW-Empfehlung H1000 mit einer schnelleren Klärung des anzuwendenden Verfahrens etwas Zeit gespart. Dies hätte jedoch die Erteilung der Baugenehmigung nicht beschleunigt, da das Projekt Merkmale aufweist, die es ausserhalb des Rahmens des Bundesgesetzes über Rohrleitungsanlagen (RLG) liegen lassen. Auf technischer Ebene, bei der Wahl der Trasse, der Materialien oder auch der Tiefbauarbeiten, erfolgte die Realisierung gemäss den in der Planungsphase erarbeiteten Prognosen. Auf wirtschaftlicher Ebene lagen die tatsächlichen Kosten der Realisierung über den Schätzungen des Vorprojekts, allerdings in einem überschaubaren Rahmen (10 %). Die ersten Betriebsergebnisse der Wasserstofftransportleitung sind sehr ermutigend. Sie lassen den Schluss zu, dass das Projekt dieser Hochdruckleitung mit einer Länge von weniger als 100 m wirtschaftlich interessanter ist als der Transport von Wasserstoff per Lkw bei Durchsätzen von mehr als 200 kg pro Tag.

Durch die Extrapolation der Kosten, die durch den Bau der Hochdruckleitung erzielt wurden, kommt man zu dem Schluss, dass ein Leitungsnetz für den Transport von Wasserstoff bei niedrigem Druck (30 bar) wirtschaftlich interessant und aus technischer und administrativer Sicht nicht belastend ist.



Résumé

Ce rapport décrit les étapes de planification et de réalisation d'une conduite de transport d'hydrogène à haute pression. Celle-ci est construite dans le domaine public et traverse en souterrain sous une voie de chemin de fer. Après avoir exposé le contexte dans lequel s'inscrit ce projet industriel, le rapport relate en détail quels ont été les défis de cette construction.

D'abord d'un point de vue administratif, le rapport retrace les démarches qui ont mené à l'obtention du permis de construire. Une partie du document explique cadre légal et les références disponibles au moment où le projet était en attente de réponse concrète. Le sujet a évolué pendant la réalisation, ce qui a permis la publication de la recommandation SVGW H1000.

Ensuite, d'un point de vue technique, les références et les normes qui ont conduit au dimensionnement de la conduite ont été expliquées. Et enfin du point de vue économique, un prix de l'hydrogène est déterminé et comparé à la solution d'une fourniture d'hydrogène par la route avec des camions-trailers. L'étude a permis d'esquisser les valeurs charnières à partir desquelles la construction d'une conduite de transport d'hydrogène est plus intéressante que le transfert par la route, malgré les investissements conséquents.

Un constat a été fait sur les aspects administratifs, techniques et économiques pour la réalisation de cette conduite de transport d'hydrogène à haute pression. Du point de vue administratif, la publication de la recommandation SVGW H1000 aurait permis de gagner un peu de temps avec une clarification plus rapide de la procédure à appliquer. Cependant, cela n'aurait pas accéléré l'obtention du permis de construire, le projet ayant des caractéristiques qui le placent hors du cadre de la loi fédérale sur les installations de transport par conduites (LITC). Au niveau technique, les choix du tracé, des matériaux ou encore du travail de génie civil, la réalisation s'est faite selon les prévisions élaborées dans la phase de planification. Sur le plan économique, le coût réel de la réalisation s'est avéré supérieur aux estimations d'avant-projet mais dans une proportion mesurée (10%). Les premiers résultats d'exploitation de cette conduite de transport d'hydrogène sont très encourageants. Ils permettent de conclure que le projet de cette conduite à haute pression d'une longueur inférieure à 100 m est plus intéressante économiquement qu'un transport d'hydrogène par camion pour des débits supérieurs à 200 kg par jour.

En extrapolant les coûts obtenus sur la construction de la conduite à haute pression, il est conclu qu'un réseau de conduites de transport d'hydrogène à basse pression (30 bar) est intéressant économiquement et non contraignant du point de vue technique et administratif.



Summary

This report describes the planning and construction stages of a high-pressure hydrogen transport pipeline. The pipeline is being built in the public domain and runs underground under a railway line. After setting out the background to this industrial project, the report goes on to describe in detail the challenges involved in its construction.

Firstly, from an administrative point of view, the report retraces the steps taken to obtain planning permission. Part of the document explains the legal framework and references available at the time when the project was awaiting a concrete response. The subject evolved during the course of the project, leading to the publication of SVGW recommendation H1000.

Then, from a technical point of view, the references and standards that led to the dimensioning of the pipe were explained. And finally, from an economic point of view, the price of hydrogen was determined and compared with the solution of supplying hydrogen by road using lorry-trailers. The study made it possible to outline the threshold values at which the construction of a hydrogen transport pipeline is more attractive than transferring the fuel by road, despite the considerable investment involved.

A report was drawn up on the administrative, technical and economic aspects of building this high-pressure hydrogen transport pipeline. From an administrative point of view, the publication of SVGW recommendation H1000 would have saved a little time by clarifying the procedure to be applied more quickly. However, this would not have speeded up the process of obtaining planning permission, as the characteristics of the project place it outside the scope of the Federal Law on Pipeline Transport Installations (LITC). In technical terms, the choice of route, materials and civil engineering work was carried out in accordance with the forecasts drawn up during the planning phase. In economic terms, the actual cost of the project was higher than the pre-project estimates, but only by a small margin (10%). The initial operating results of this hydrogen transport line are very encouraging. They lead to the conclusion that the project for this high-pressure line, less than 100 m long, is more economically attractive than transporting hydrogen by lorry for flows of more than 200 kg per day.

By extrapolating the costs obtained for the construction of the high-pressure pipeline, it is concluded that a network of low-pressure (30 bar) hydrogen transport pipelines is economically attractive and not technically or administratively restrictive.

Take-home messages

- La construction d'une conduite de transport d'hydrogène à haute pression est une affaire intéressante en optant pour de courtes distances (< 100 m) pour un débit journalier au-delà de 200kg H₂/jour.
- La construction d'une conduite de transport d'hydrogène à basse pression est une affaire intéressante même pour des distances de plusieurs centaines de mètres. En supposant que le tracé ne comporte que des fouilles ouvertes, sur la base d'un coût de construction de CHF 1'500.--/mL, une conduite de 1 km est rentable à partir d'un débit de 350 kg H₂/jour.
- La procédure pour l'obtention du permis de construire n'est pas un obstacle à ce type de construction.
- Une fois la construction terminée, testée, contrôlée et sécurisée, l'exploitation d'une conduite de transport d'hydrogène par rapport à toute la logistique d'un acheminement par camion est grandement facilitée.



Table des matières

Table des matières	6
Liste des abréviations	8
Normes et lois	9
1 Introduction	10
1.1 Contexte et motivation	10
1.1.1 Le contexte général	10
1.1.2 Le besoin en hydrogène de la firme Liebherr Machines Bulle SA (LMB)	10
1.1.3 Le projet de production d'hydrogène vert dans la zone industrielle de Planchy à Bulle	11
1.1.4 Description des installations construites pour GHP	14
1.1.5 Etat de l'art des conduites d'hydrogène dans le domaine public	15
1.1.6 La recommandation « H1000 » de la association pour l'eau, le gaz et la chaleur (SVGW). ...	16
1.2 Objectifs du projet	17
1.2.1 Exigences administratives	17
1.2.2 Exigences techniques	17
1.2.3 Exigences de durabilité	17
2 Procédure et méthode	18
2.1 Planification (2021-2022)	18
2.1.1 Lot administratif	18
2.1.2 Introduction	18
2.1.3 Cadre légal et sécurité en Suisse	18
2.1.4 Démarches préalables de GHP	19
2.1.5 Documents élaborés et soumis par GHP pour la demande d'autorisation	20
2.1.6 Lot technique	20
2.1.7 Génie-civil	20
2.1.8 Construction	22
2.1.9 Instrumentation et mesures de sécurité	28
2.1.10 Lot économique	29
2.2 Réalisation (2023)	30
2.2.1 Lot administratif	30
2.2.2 Génie-civil	31
2.2.3 Construction	36
2.2.4 Instrumentation et mesures de sécurité	43
2.2.5 Lot économique	46
2.3 Exploitation (2024)	47



3	Résultats et commentaire.....	49
3.1	Résultats	49
3.1.1	Lot administratif	49
3.1.2	Génie-civil	50
3.1.3	Construction.....	50
3.1.4	Instrumentation et mesures de sécurité	50
3.1.5	Lot économique	51
3.2	Recommandations.....	53
3.2.1	Lot administratif	54
3.2.2	Génie-civil	54
3.2.3	Construction.....	54
3.2.4	Instrumentation et mesures de sécurité	54
3.2.5	Lot économique	54
4	Conclusions et résumé	55
5	Aperçu et mise en œuvre prochaine	56
6	Coopération nationale et internationale.....	57
7	Bibliographie.....	58



Liste des abréviations

GESA	Gruyère Energie SA
GHP	Gruyère Hydrogen Power SA
TPF	Transports Publics Fribourgeois
SVGW	Fachverband für Wasser, Gas und Wärme, www.svgw.ch - Association professionnelle pour l'eau, le gaz et la chaleur
EFFECTS	Outil de simulation
OFEN	Office fédéral de l'énergie
IFP	Inspectorat fédéral des pipelines
SSC	Swiss Safety Center
MT	Moyenne tension du réseau électrique
SeCA	Service des constructions et de l'aménagement du canton de Fribourg
ECAB	Etablissement cantonal d'assurance des bâtiments
SdE	Service de l'énergie du canton de Fribourg
SMo	Service de la mobilité du canton de Fribourg
SEn	Service de l'environnement du canton de Fribourg
SAEF	Service archéologique de l'Etat de Fribourg



Normes et lois

LITC	Loi sur les installations de transport par conduites
OITC	Ordonnance sur les installations de transport par conduites
OSITC	Ordonnance sur la sécurité des installations de transport par conduites
OPAM	Ordonnance sur la protection des accidents majeurs



1 Introduction

1.1 Contexte et motivation

1.1.1 Le contexte général

L'hydrogène vert est au cœur des discussions énergétiques en Suisse et en Europe. Considéré comme essentiel pour la transition vers un approvisionnement en énergie plus propre, il est crucial de comprendre le concept d'hydrogène vert.

Qu'est-ce que l'hydrogène vert ? L'hydrogène est qualifié de vert lorsqu'il est produit par électrolyse de l'eau, utilisant ainsi des sources d'énergie renouvelables telles que le solaire, l'hydroélectricité ou l'éolien. Il est indispensable dans les secteurs où l'électricité seule ne suffit pas. De plus, il permet le stockage et le transport de l'énergie produite par des sources renouvelables, constituant ainsi une alternative écologique aux combustibles fossiles. Émettant peu de CO₂, il représente un vecteur d'énergie durable et polyvalent. L'excédent d'électricité solaire peut être converti en hydrogène vert et stocké pour être utilisé lors d'un pic de demandes énergétiques.

Objectifs de la Suisse concernant l'hydrogène vert : La Suisse reconnaît le potentiel majeur de ce vecteur énergétique dans sa transition vers la neutralité carbone d'ici 2050. Bien qu'elle n'ait pas encore de stratégie nationale définie à ce jour, un projet de texte sur ce sujet devrait être présenté au second semestre de 2024. Ce document examinera les conditions nécessaires à la création d'un marché ainsi que la connexion du pays au futur réseau européen de l'hydrogène.

L'Union européenne et plusieurs États membres prévoient également d'augmenter considérablement la production d'hydrogène vert d'ici 2030. Bien que la Suisse n'ait pas encore de stratégie nationale claire sur l'hydrogène, elle collabore avec des partenaires internationaux et des entreprises privées pour développer cette technologie [1].

1.1.2 Le besoin en hydrogène de la firme Liebherr Machines Bulle SA (LMB)

Liebherr, un acteur majeur dans le domaine de la construction et des engins de terrassement, s'est engagé dans le développement de moteurs à hydrogène. Voici un aperçu de leurs avancées dans ce domaine :

1. Prototypes de moteurs à Hydrogène:

- Lors du salon Bauma 2022, Liebherr a dévoilé en avant-première deux prototypes de moteurs à hydrogène. Chaque prototype est équipé d'une technologie d'injection spécifique : injection directe (DI) et injection indirecte (PFI) [2].
- Ce moteur à combustion interne ouvre la voie vers un avenir plus propre dans le secteur du BTP.

2. Moteur H966:

- Le moteur H966 est le cœur de la nouvelle pelle hydraulique de Liebherr. Il utilise la technologie d'injection dans la tubulure d'admission (PFI) pour fonctionner à l'hydrogène pur. Ce moteur 6 cylindres zéro émission offre puissance, dynamique et réduction des rejets de CO₂.



3. Vers la Production en Série:

- Liebherr a investi massivement dans le développement de ses moteurs à hydrogène et de ses installations d'essai. Plusieurs prototypes ont été testés depuis 2020, avec des résultats encourageants en termes de performances et d'émissions.
- Le segment Composants de Liebherr prévoit de commencer la production en série de moteurs à hydrogène d'ici 2025 [3].

4. Collaboration avec MAHLE Powertrain:

- Liebherr collabore avec MAHLE Powertrain pour développer une préchambre de combustion adaptée aux moteurs à hydrogène. Cette technologie permet un allumage stable de l'hydrogène sans réduction du taux de compression, offrant ainsi une solution d'entraînement robuste et neutre en carbone [4].

Les moteurs sont testés sur des bancs d'essai spécifiquement aménagés par Liebherr sur son site de Bulle. Pour l'instant, il s'agit de 2 bancs d'essai pouvant tester des moteurs de 400 kW. A terme, en fonction de l'avancée du programme, d'autres bancs d'essai pourront être mis à disposition. Les bancs d'essai nouvellement adaptés à l'utilisation d'hydrogène disposent d'un très haut niveau de sécurité.

Depuis le début du programme de développement du moteur en 2021, l'hydrogène nécessaire aux bancs d'essai est acheminé par camion-trailers. Pour cette période transitoire de 2021 à 2024, Liebherr a établi un contrat avec un traditionnel fournisseur de gaz sur le marché. Il s'agit donc d'hydrogène gris, acheminé dans des camions-trailers à 200 bar, transportant environ 300 kg d'hydrogène par remorque.

Les quantités d'hydrogène consommées par Liebherr varient fortement, elles vont de 0 à 300 kg par jour, 7 jours sur 7 et 24 heures sur 24. Les pressions usuelles de fonctionnement sur les bancs d'essai sont fixées au minimum à 40 bar.

L'engagement de Liebherr dans le domaine de l'hydrogène contribue à façonner un avenir plus durable pour l'industrie de la construction et de la mobilité.

1.1.3 Le projet de production d'hydrogène vert dans la zone industrielle de Planchy à Bulle

En tant qu'entreprise régionale d'approvisionnement en énergie, Gruyère Energie SA (GESA) a initié le projet de production d'hydrogène vert en vue d'une fourniture directe à Liebherr d'une part et d'autre part, dans l'idée d'anticiper la nécessité de stocker des surplus d'électricité qui deviennent de plus en plus fréquents sur le marché. En effet, à certains moments du jour, en fonction des conditions d'ensoleillement, le réseau électrique se retrouve « inondé » de courants électriques excédentaires provenant des installations solaires photovoltaïques de tous les propriétaires raccordés. Le phénomène n'est pas propre à GESA, il l'est pour tous les réseaux qui approvisionnent des petites villes ou des zones de campagne. Sur le réseau électrique de GESA, la puissance totale des installations solaires photovoltaïques raccordées s'élève à plus de 25 MW, alors que la courbe de charge se situe entre 15 et 30 MW. Cette situation induit par mal de problèmes, surtout si la météo est capricieuse et principalement la période très ensoleillée et plus chaude, soit le printemps et l'été.

Ainsi, disposer de moyens pour stocker cette énergie excédentaire et la restituer au moment où le réseau est plutôt en manque d'offre devient un sujet stratégique.

Lorsque le projet a démarré en 2020, GESA a choisi le site de la centrale de chauffe existante de Planchy Sud à Bulle pour implanter son installation de production d'hydrogène vert. Il y a plusieurs raisons à ce choix stratégique :

1. La proximité du site avec le principal consommateur d'hydrogène, LMB. Selon le principe qu'il était plus facile de transporter des électrons sur les lignes électriques que des molécules de gaz sous pression dans des remorques acheminées par la route.



2. La convergence des réseaux d'infrastructures nécessaires au processus de production d'hydrogène vert. En tant qu'exploitant d'un réseau de distribution, d'eau potable, d'un réseau d'électricité moyenne tension (MT) et d'un réseau de chauffage à distance (CAD), GESA dispose de tous ces services directement sur la parcelle de la centrale de chauffe.
3. Le projet a donc l'avantage de se situer juste à côté des consommateurs d'hydrogène, ce qui réduit les émissions de CO₂ induites par les déplacements de trailers d'hydrogène sur la route. En revanche, il est nécessaire de trouver des solutions pour développer des sources d'électricité d'origine renouvelable. Ainsi, au niveau de l'approvisionnement en électricité verte, c'est une combinaison d'installations solaires photovoltaïques, une centrale de cogénération à bois usagée et finalement un complément provenant du réseau électrique qui constitueront le portefeuille des besoins électriques de l'installation de production d'hydrogène.
4. L'utilisation d'une parcelle industrielle existante. Dans la construction d'infrastructure en général, le plus grand frein se situe souvent au niveau de l'aménagement du territoire, surtout si la parcelle est encore du type agricole. Dans notre cas, le type de parcelle ayant déjà été modifié au moment de la construction de la centrale de chauffe, le but était de pouvoir construire l'installation de production d'hydrogène nécessaire sans avoir à agrandir et dézoner une surface. Les études initiales ont montré qu'une installation de production d'hydrogène d'une puissance de 2 MW (env. 40 kg H₂/heure) était suffisante pour les besoins de Liebherr et pouvait être construite sur le site existant de Planchy-Sud (Figure 1).



Figure 1 : Au-dessous de la voie de chemin de fer se trouve le site de GHP où a été construite l'installation de production d'hydrogène vert ; entre les deux ronds rouges a été construit le pipeline d'hydrogène en recourant à un forage. Au-dessus de la voie de chemin de fer se trouve l'interface avec le consommateur, l'entreprise Liebherr ; entre les deux carrés rouges a été construit le pipeline d'hydrogène en effectuant une fouille ouverte

En 2021, la société Gruyère Hydrogen Power SA a été constituée par GESA afin de porter ce projet d'envergure. En mai 2023, le groupe Liebherr-International ainsi que les transports publics fribourgeois (TPF) sont entrés au capital-actions de la société.



1.1.4 Description des installations construites pour GHP

L'installation de production d'hydrogène vert de GHP est conçue pour réaliser les principales étapes suivantes (Figure 2):

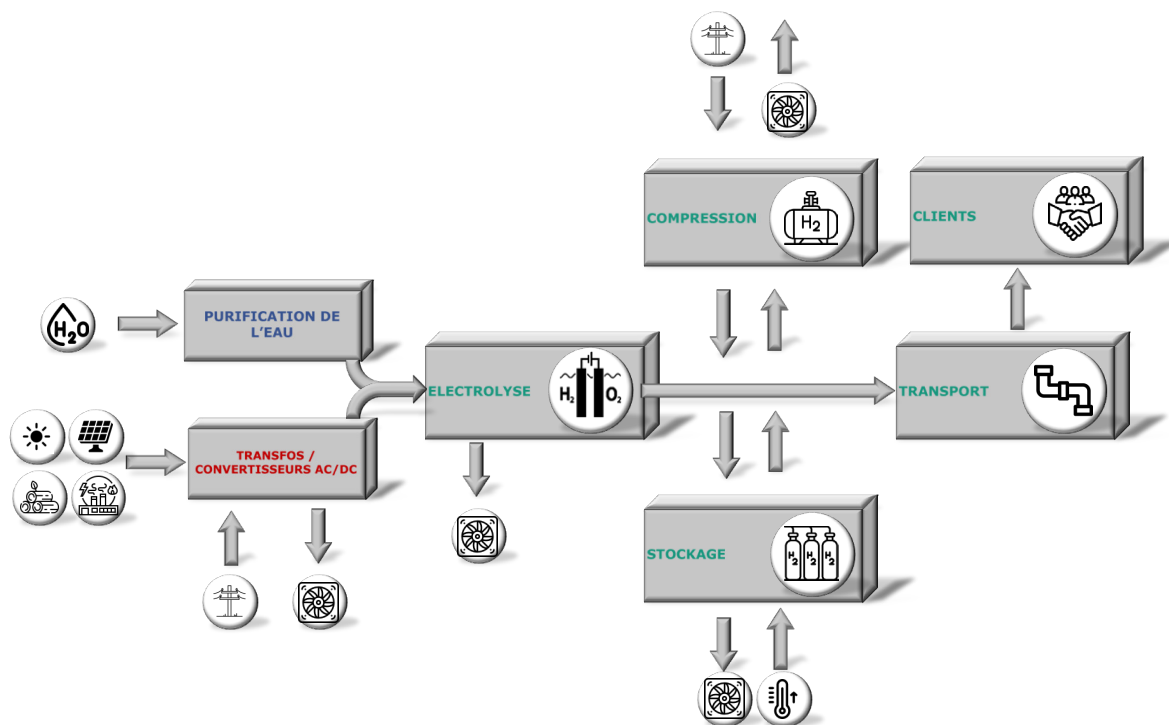


Figure 2 : Schéma de principe de la chaîne de valeur mise en place par GHP

a) L'électrolyse

Il s'agit du « cœur » de l'installation. Des électrolyseurs de type PEM ont été choisis par GHP. Comme il est vraisemblable que plusieurs installations solaires photovoltaïques deviennent une des sources d'électricité pour le process, il était important de choisir une solution qui puisse absorber les fluctuations de puissance. De plus, comme il en résulte un hydrogène d'une pureté élevée, le choix s'est définitivement porté sur cette technologie. C'est la société H-TEC Systems qui a été choisie comme fournisseur.

Une puissance nominale de 2 MW a été installée, sous la forme de deux modules ME450, contenus dans des containers de 40". L'installation peut générer jusqu'à 38.5 kg H2 par heure.

Les containers intègrent directement à la fois la conversion d'électricité AC/DC et la préparation de l'eau. La tendance du marché s'oriente clairement vers cette limite de fourniture.

b) Le stockage

Le choix s'est porté sur une solution d'hydruure métallique pour les raisons suivantes :

- La densité d'hydrogène stocké par unité de volume est 4 à 5 fois supérieure que sous forme gazeuse à haute pression
- La sécurité d'un stockage basse pression diminue les risques de fuites principalement.
- La disponibilité de la chaleur sur le site permet la désorption de l'hydrogène



- L'efficacité globale du système, principalement en cas de fourniture d'hydrogène à basse pression (< 35 bar) pour le client final ; pour l'instant, le besoin de Liebherr a été fixé à une pression de 40 bar au minimum, mais en fonction de l'avancée de la maturité de leur moteur, de nouveaux injecteurs permettront d'utiliser l'hydrogène avec des pressions inférieures à 30 bar, ce qui permettrait de s'affranchir de l'utilisation d'un compresseur mécanique.

c) La compression

Un compresseur à piston, fourni par la société Atlas-Copco, permet de passer de 30 bar, à la sortie de l'électrolyseur ou du stockage, jusqu'à 220 bar pour un premier niveau de compression et jusqu'à 500 bar pour le deuxième niveau de compression au bout de la conduite d'hydrogène.

Le compresseur est installé du côté GHP, dans le bâtiment existant de la centrale de chauffe de GESA.

d) Le transport

La conduite de transport d'hydrogène est d'une longueur d'environ 70 m. Elle permet d'acheminer l'hydrogène depuis le site de GHP jusque sur le site de Liebherr où se trouvent deux emplacements pour 2 remorques-trailers. Une voie de chemin de fer des TPF sépare le lieu de production (GHP) et le lieu de consommation (Liebherr) (Voir figure 1 et 4).

Le choix d'une conduite à haute pression permet à GHP d'envisager plusieurs segments du marché : la fourniture d'hydrogène à basse pression est prévue avant tout pour Liebherr, pour les besoins des bancs d'essai de moteurs à combustion. Mais l'objectif est également de pouvoir servir le marché de la mobilité, respectivement le remplissage de remorques-trailers pour de quelconques besoins en hydrogène dans l'industrie.

L'aménagement d'un compresseur d'hydrogène à haute pression sur le lieu de déchargement de l'hydrogène sur la parcelle de Liebherr aurait été plus contraignant en termes d'autorisations. Malgré un coût par mètre de construction plus élevé a priori pour un pipeline à haute pression, cette solution a été choisie en raison de la courte distance et des contraintes moindres pour la construction.

Le choix de construire une conduite de transport d'hydrogène à haute pression (500 bar) s'est donc fait sur ces simples considérations.

Le but de ce rapport est de comparer les coûts d'une telle solution avec celle d'une conduite à basse pression (30 bar).

1.1.5 Etat de l'art des conduites d'hydrogène dans le domaine public

Une conduite peut présenter de nombreux avantages pour la distribution de l'hydrogène par rapport à un transport dans des camions-trailers. Ce créneau est connu sur des sites industriels, cependant il ne l'était pas encore dans le domaine public au moment du lancement du projet par GHP.

Les défis de GHP ont été à la fois administratifs (autorisations) et techniques. Des échanges ont eu lieu avec la SSIGE, l'IFP et l'OFEN pour déterminer sous quelle loi ce type d'infrastructure était soumis.

L'étude [8] qui pose les fondements de la construction de conduites d'hydrogène dans le domaine public, en tant qu'intérêt pour l'approvisionnement énergétique, aurait été une aide précieuse. Cependant, l'étude est parue bien après les premiers travaux de planification de GHP. Au niveau administratif, de nombreux éléments se recoupent dans la recommandation « H1000 » dont nous parlons dans le chapitre suivant.



1.1.6 La recommandation « H1000 » de la association pour l'eau, le gaz et la chaleur (SVGW).

Depuis le 1er juillet 2023, l'hydrogène fait partie du domaine soumis à l'ordonnance sur les installations de transport par conduites (OITC) en Suisse. Les installations de transport par conduites dans lesquelles l'hydrogène est acheminé sont désormais soumises aux prescriptions de la loi sur les installations de transport par conduites (LITC) et de l'ordonnance sur la sécurité des installations de transport par conduites (OSITC) [5]. Aucune modification spécifique à l'hydrogène n'a cependant été apportée à ces documents juridiques.

Les réseaux locaux d'hydrogène reliant par ex. une installation de production (électrolyseur) à un consommateur, en particulier, peuvent entraîner des défis techniques complexes, car une telle installation de transport par conduites tombe rapidement dans le domaine de la haute pression selon l'OITC et est donc soumise à la surveillance de la Confédération (OSEP). Cela est dû aux pressions des conduites (> 5 bars) relativement élevées et aux diamètres (> 60 mm) relativement importants que présentent souvent de telles installations locales.

Aujourd'hui, les canalisations au sens de l'art. 1 de l'ordonnance sur les installations de transport par conduites (OITC, RS 746.11) qui transportent de l'hydrogène pur tombent sous le coup de la LITC et des ordonnances afférentes, si la pression de service maximale dans les conduites est supérieure à 5 bar et si les conduites ont un diamètre extérieur supérieur à 6 cm.

La conception, la construction et l'exploitation des installations d'hydrogène sont cadrés avant tout par la loi fédérale sur la sécurité des produits (LSPro, RS 930.11) et les ordonnances afférentes, en particulier l'ordonnance sur les équipements sous pression (OSEP, RS 930.114). C'est l'Association suisse d'inspection technique (ASIT) qui est l'organe compétent pour la surveillance des marchés des équipements sous pression. L'OSEP règle en particulier les exigences essentielles en matière de sécurité, la procédure d'évaluation de la conformité, ainsi que le marquage et la documentation accompagnant la fabrication des équipements sous pression et ensembles. Elle renvoie aux dispositions de la directive UE sur les équipements sous pression (2014/68/UE). Les normes et autres réglementations harmonisées se référant à cette directive européenne sont donc applicables.

Il s'agira à l'avenir d'assujettir les futures canalisations de transport d'hydrogène à la législation sur le transport par conduites moyennant une révision focalisée sur la sécurité et la durabilité d'exploitation, indépendamment de l'utilisation du fluide, tout comme sur la sécurité d'approvisionnement. Le champ d'application des normes européennes (CEN) pour l'infrastructure gazière fait actuellement l'objet d'une conversion de 100% gaz naturel à 100% hydrogène. Les normes complétées devraient être disponibles d'ici à 2024. La canalisation pourrait ainsi être développée en continu sans grand effort en cours d'exploitation.

La recommandation H1000 vise à structurer les projets liés à l'étude, la construction et l'exploitation des canalisations d'hydrogène. Elle fournit les bases techniques nécessaires pour ces projets, tout en tenant compte des législations nationales, européennes et internationales concernant les aspects techniques [4]. Cette recommandation reflète également les connaissances actuelles dans le domaine de la recherche et les résultats concrets de différents projets réalisés en Suisse et à l'étranger.



Voici quelques points clés de la recommandation H1000:

1. Objectif:
 - Structurer les projets de conduites d'hydrogène.
 - Formuler les bases techniques nécessaires à la planification, la construction et l'exploitation.
2. Contexte:
 - Tient compte des législations nationales, européennes et internationales.
 - S'appuie sur les acquis des infrastructures de gaz et d'hydrogène existantes ainsi que sur les normes et réglementations associées.
3. Application:
 - S'applique aux projets de conduites d'hydrogène.
 - Fournit des directives pour garantir la sécurité, la fiabilité et l'efficacité des installations.
4. Connaissances actuelles:
 - Intègre les dernières avancées de la recherche dans le domaine de l'hydrogène.
 - S'inspire des projets concrets menés en Suisse et à l'étranger.

1.2 Objectifs du projet

1.2.1 Exigences administratives

Au moment de faire les demandes de permis de construire, GHP avait environ une année d'avance sur la publication de la recommandation H1000 de la SVGW. Le but est de comparer ce qui a été réalisé comme procédure administrative par rapport à ce qui aurait été exigé aujourd'hui.

Dans ce volet administratif, la traversée souterraine au-dessous d'une voie de chemin de fer, dans le domaine public, représentait une contrainte supplémentaire à traiter.

1.2.2 Exigences techniques

Le but est d'établir les bases de décision qui permettent d'arrêter des choix techniques dans les sujets suivants :

- Les travaux de génie-civil, le type d'enfouissement des conduites et le tracé
- Les choix des matériaux de la conduite, le diamètre, la pression, l'épaisseur des parois, ...
- Les instruments de mesure (vannes, capteurs de pression, mesures de débit, ...)
- Les contrôles de sécurité

1.2.3 Exigences de durabilité

Le but est de déterminer les coûts de construction et les contraintes environnementales d'une conduite d'hydrogène en les comparant avec les solutions d'une distribution d'hydrogène avec des camions-trailers. La comparaison a été faite de manière théorique en prenant un certain nombre d'hypothèses (chapitre 2.1.10). La réalité des coûts de la construction est détaillée dans le chapitre 2.2.6.



Ces 3 types d'exigence résument les résultats attendus par le présent document, car les conclusions pourront ainsi servir de référence en vue de décisions pour des acteurs de la branche qui construisent un site.

En somme, si l'hydrogène vert confirme être un maillon essentiel de la transition énergétique en Suisse, la construction d'un réseau de conduites d'hydrogène sera à terme un élément indispensable de la chaîne de valeur. Ceci est d'autant plus important que cette infrastructure pourrait se raccorder sur le European Hydrogen Backbone [6].

2 Procédure et méthode

2.1 Planification (2021-2022)

2.1.1 Lot administratif

2.1.2 Introduction

La proximité entre le site de production d'hydrogène et le principal consommateur a rapidement convaincu GHP que la meilleure solution était la construction d'une conduite d'hydrogène enterrée.

Comme cela a déjà été mentionné plus haut dans ce document, la solution d'une conduite à haute pression s'est également rapidement imposée. Elle permet de proposer le remplissage de remorques trailers sans avoir à installer un compresseur d'hydrogène sur la parcelle de Liebherr, le principal consommateur.

La distance entre le producteur et le consommateur d'hydrogène est de moins de 100 m. Ceci caractérise le projet comme un « transport d'hydrogène bas volume » [7]. On parle de « transport d'hydrogène » car on se trouve dans une notion de haute pression qui définit spécifiquement le champ d'application de la loi et des ordonnances. En fait, les valeurs de la LITC ont été fixées à 6 cm et plus de 5 bar en raison des conclusions sur les calculs de hauteur de flamme et le risque d'effets létaux.

2.1.3 Cadre légal et sécurité en Suisse

En Suisse, l'ajout de l'hydrogène dans le champ d'application de l'ordonnance sur les installations de transport par conduites (OITC) vise à clarifier la responsabilité en matière de surveillance et à harmoniser les règles applicables au niveau fédéral. La Confédération sera compétente pour la construction et la surveillance des conduites d'hydrogène exploitées à une pression supérieure à 5 bars.

L'annexe 1 OSITC présente une liste de directives qui sont considérées comme des règles de la technique. Selon les discussions au sein du groupe de travail, l'annexe 1 sera mise à jour avec l'intégration de règles de la technique concernant le transport de l'hydrogène. En effet, hormis une recommandation du SVGW datant d'avril 2023, il n'existe à l'heure actuelle pas encore de règles techniques traitant spécifiquement du transport de l'hydrogène au niveau Suisse.

Concernant l'application de la LITC et de ses ordonnances aux micro-réseaux, les différentes caractéristiques physiques du gaz naturel et de l'hydrogène rendent particulièrement complexe la recherche d'une limite d'assujettissement pour les conduites d'hydrogène, qui soit comparable à la limite qui aujourd'hui définit le champ d'application pour les conduites de gaz naturel.



Les modélisations réalisées avec EFFECTS (outil de simulation) ont montré que même pour les hautes pressions, le feu de torche ne produit pas d'effets létaux sur une cible située au sol [7]. Néanmoins, en considérant la difficulté technique de gérer des pressions si élevées ($P > 500$ bar par exemple) et en accord avec les experts de la branche (SVGW, Association des producteurs de H₂), l'OFEN a décidé de maintenir une limite basée sur la notion de hauts et de bas volumes, ceci afin que l'OSITC reste pleinement applicable à ce type de conduites. Ainsi, deux seuils d'assujettissement à l'OSITC pour les conduites d'hydrogène ont été proposés par l'OFEN et ont été évalués du point de vue des risques : un seuil de 200'000 Pa*m (200 bar * cm), avec un diamètre extérieur égal ou inférieur à 10 cm, et un seuil de 300'000 Pa*m (300 bar*cm), avec un diamètre égal ou inférieur à 12 cm. Différentes modélisations ont été réalisées. Les résultats montrent qu'un feu de torche impliquant des conduites respectant les limites de 200 bar*cm et de 300 bar*cm, ne génère pas d'effets létaux. La possibilité d'une explosion d'un nuage d'hydrogène devra être évaluée pour les micro-réseaux également, lorsque les connaissances sur ce scénario seront plus abouties.

La limite d'assujettissement à l'OSITC des conduites transportant de l'hydrogène pur est aujourd'hui en cours de discussion au sein du groupe de travail. La limite définitive devrait également tenir compte des paramètres techniques des conduites qui sont utilisées aujourd'hui pour ce type de micro-réseau, le but étant notamment de proposer une valeur qui soit pertinente du point de vue de l'état de la technique.

Notons néanmoins que toutes les conduites d'hydrogène qui ne tombent pas dans le champ d'application de la LITC ni dans celui de l'OSITC doivent de toute manière respecter les articles 2, 3, al. 1 et 2, 39a et l'annexe 1 de l'OSITC, d'où l'importance de mettre à jour l'annexe 1 avec les normes techniques pour le transport d'hydrogène.

Les installations de transport par conduite au sens de l'OITC, sont également assujetties à l'Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs (OPAM) lorsqu'elles remplissent les critères définis à l'annexe 1.3 de ladite ordonnance. Les hydrogénoducs qui entreront dans le champ d'application de l'OPAM devront faire l'objet d'un rapport succinct et, si nécessaire, d'une étude de risque, selon les art. 5 et 6 OPAM. De même que pour les gazoducs, l'industrie devra développer en temps utile un Rapport-Cadre pour l'analyse standardisée des risques d'accidents majeurs pour les conduites de transport d'hydrogène. La méthodologie permettra d'harmoniser l'évaluation des risques sur l'ensemble du territoire suisse et sera un outil important dans la prévention des accidents majeurs.

2.1.4 Démarches préalables de GHP

A ce moment-là, le cadre légal pour la construction de ce genre de conduites dans le domaine public, décrit dans le chapitre précédent, n'était encore pas du tout d'actualité. Tout au plus, un groupe de travail était en train de se constituer par l'impulsion de la SVGW et ceci a finalement débouché sur la recommandation H1000 sortie en avril 2023.

Comme un permis de construire n'est octroyé que par une autorité, la première étape de la démarche de GHP fut de déterminer quelle autorité allait statuer sur la demande de construction. Les échanges avec différents services et organisations ont duré environ une année. Sans forcément une chronologie rigoureuse, voici la liste des contacts pris par GHP :

- **L'OFEN** en février 2021 qui nous a orienté vers l'IFP
- **L'IFP** qui nous indiqua que l'hydrogène ne faisait pas partie de leur périmètre
- **Le SSC** en tant qu'organe de certification et donc qui n'a pas d'autorité
- **La SVGW** qui a pris les choses en main se rendant compte que l'hydrogène allait être un sujet important dans le futur ; en tant qu'association en charge d'établir les règles pour la construction des conduites de gaz naturel et d'eau potable ; sous l'impulsion de la SVGW, une commission s'est constituée et a permis de traiter l'hydrogène en tant que combustible



Finalement, il s'est avéré que l'hydrogène n'était pas considéré comme un combustible au sens de la LITC. Même si l'hydrogène était soumis à la LITC, le pipeline de GHP n'aurait pas été soumis à la LITC, car il fait moins de 100 m et à un diamètre inférieur à 6 cm. Cet élément est important, car il a permis de valider le fait qu'aucune procédure OPAM sur l'installation de transport par conduites n'était nécessaire, car cela ne concerne que les conduites soumises à la LITC.

GHP n'étant pas soumis à une loi fédérale pour l'implantation de la conduite d'hydrogène, c'est l'autorité cantonale qui allait délivrer une autorisation de construire.

En passant par une étape d'enquête préalable, le Canton de Fribourg a établi une liste des documents nécessaires à l'octroi d'un permis de construire pour la conduite de transport d'hydrogène. D'autre part, le responsable des procédures OPAM pour le Canton de Fribourg a confirmé que cette conduite de transport d'hydrogène n'était pas soumise à l'OPAM.

2.1.5 Documents élaborés et soumis par GHP pour la demande d'autorisation

Avant le dépôt d'une enquête préalable, GHP a exposé ses intentions aux services cantonaux mais également aux TPF. Ce dernier est un acteur important puisque la conduite passe sous les voies de chemin de fer leur appartenant. Le reste du terrain traversé appartient à la Ville de Bulle pour une petite distance.

Les documents suivants ont été élaborés pour l'enquête préalable, puis révisés pour certains au moment de l'enquête ordinaire :

- Une notice d'impact qui traite de la conduite de transport d'hydrogène
- Un avis géotechnique qui tient compte d'un futur pousse-tube pour le passage de la conduite de transport d'hydrogène sous la voie de chemin de fer des TPF
- Un explicatif du déroulement de la réalisation de la conduite enterrée de transport d'hydrogène donnant le tracé, un plan en coupe, le détail des conduites dans le fourreau, la méthode de construction, les mesures de sécurité et les normes appliquées par le bureau responsable de la réalisation
- Une analyse de risque dont un des chapitres traite de la conduite de transport d'hydrogène
- Un rapport d'expert sur les influences de courants vagabonds aux bords des voies TPF
- Une convention de passage entre TPF et GHP

2.1.6 Lot technique

Au niveau technique, ce lot se divise en plusieurs thèmes bien distincts :

- Le génie-civil
- La construction de la conduite de transport d'hydrogène
- Les instruments de mesure qui permettent d'exploiter la conduite de transport d'hydrogène
- Les contrôles et les tests

2.1.7 Génie-civil

Les travaux de génie civil servent au passage d'un fourreau contenant avant tout la conduite de transport d'hydrogène, mais également des services annexes comme la télécommunication et le réseau électrique MT.

Pour une raison non étayée par les TPF mais sur laquelle GHP n'a pas pu donner de référence concrète, il a été décidé de ne pas passer le réseau électrique MT dans le même fourreau contenant la conduite d'hydrogène [Figure 3].

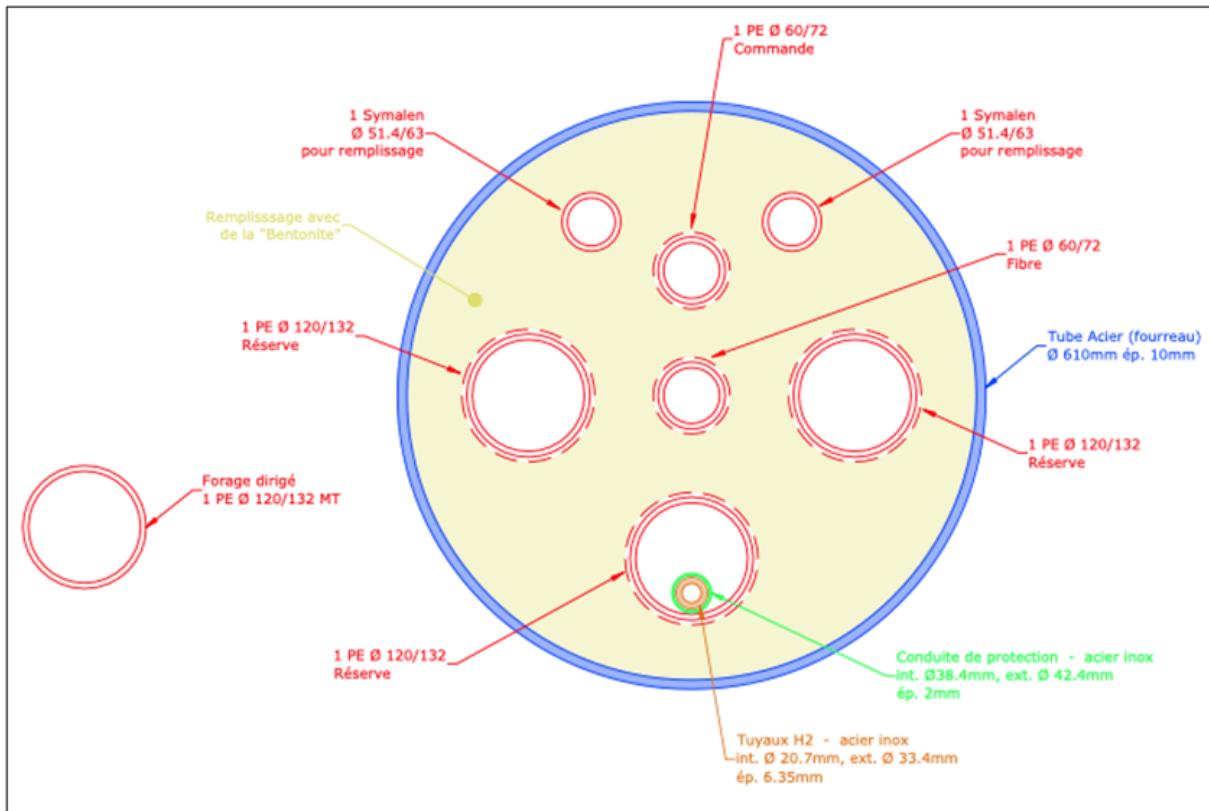


Figure 3 : Coupe des différents tuyaux contenus dans la fouille et dans le fourreau en acier de 610 mm

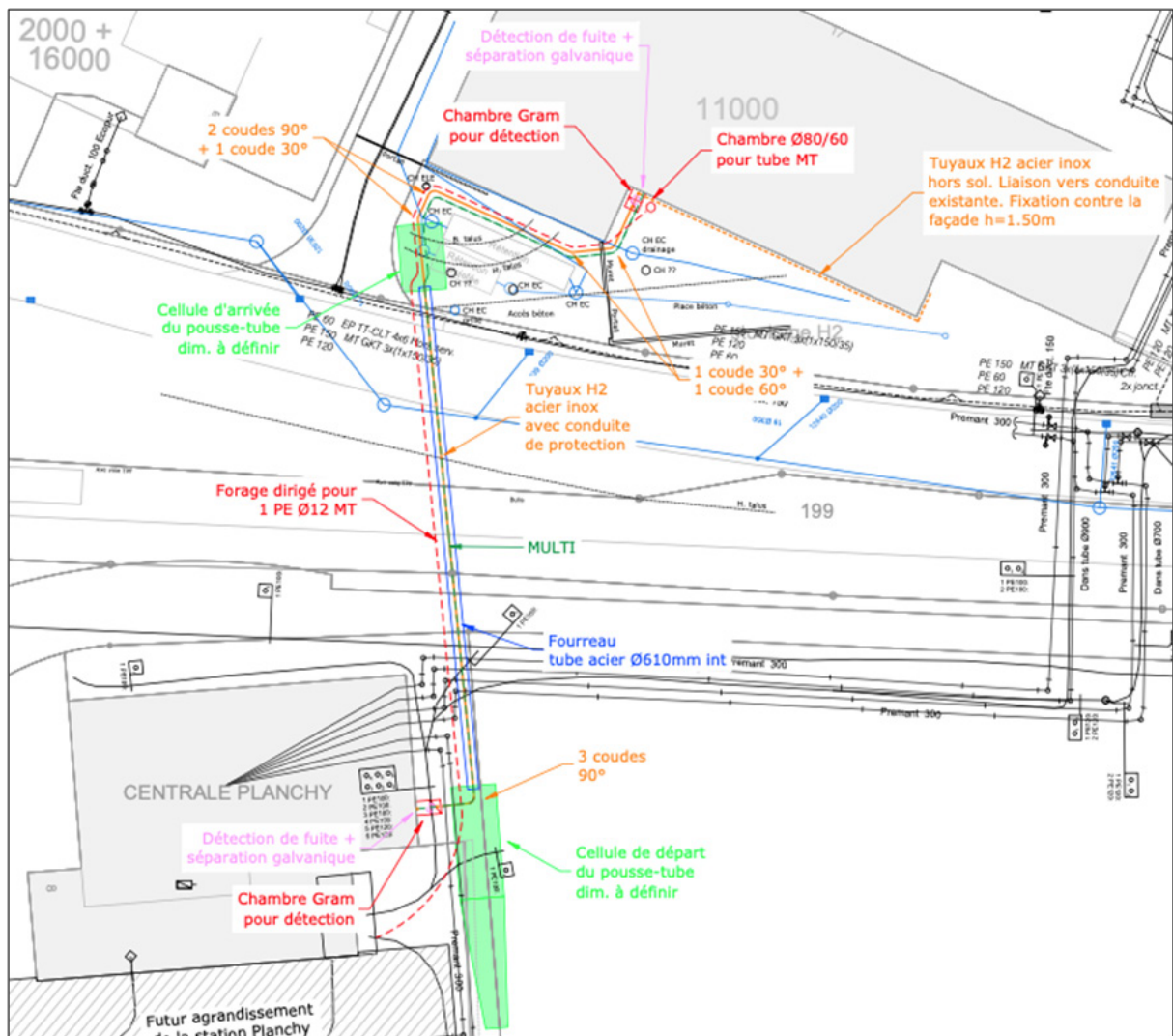
Il y aura donc deux forages :

- Un forage dirigé pour un tube PE de diamètre 120/132 mm contenant le réseau électrique MT
- Un pousse-tube réalisé avec un marteau fond de trou pour installer le fourreau en acier de diamètre de 600/610 mm contenant la conduite acier inox pour l'hydrogène ainsi que sa gaine en acier inox qui joue un rôle de manteau extérieur pour la détection de fuite dans la conduite d'hydrogène. La technique « marteau fond de trou » a pour but de réaliser une trajectoire la plus rectiligne possible. Dans ce fourreau dont le diamètre est généreux par rapport au diamètre nécessaire pour la conduite d'hydrogène, il y a 2 autres conduite PE de 120/132 mm disposées en réserve.

La réalisation de ces forages a nécessité la préparation de deux cellules (voire figure 4 et le chapitre 2.2.3 qui concerne la réalisation du génie civil). Celle de départ doit être suffisamment longue (au moins 20 m) pour introduire le tuyau d'hydrogène soudé minutieusement par tronçons de 6 m et sur lequel il faut imposer une courbure minimale afin d'éviter toute micro fissure de l'acier qui devra supporter 500 bar. Celle d'arrivée (sur la parcelle de Liebherr) est assez profonde, mais n'est pas aussi longue.

Depuis les deux cellules, la conduite d'hydrogène à haute pression sera également enterrée. Cependant, la réalisation sera faite avec une fouille ouverte.

-



2.1.8 Construction

- Privilégier la trajectoire la plus rectiligne possible
- S'approcher d'une trajectoire perpendiculaire à la voie de chemin de fer des TPF
- Forer à une profondeur adéquate de manière à assurer une distance appropriée avec la voie de chemin de fer ; aucune limite n'a été évoquée entre GHP et TPF, car la distance choisie s'élève à presque 5 m, donc une hauteur largement suffisante [Figure 5]. À priori la règle pour le passage d'infrastructures sous une voie ferrée se discute à partir de 1 m et au-delà ; cependant, comme il n'y a pas de règle pour l'hydrogène, TPF aurait certainement imposé un facteur de sécurité plus élevé que pour un autre type de conduite (chaleur, électricité, eau potable).





Figure 5_ Coupe du tracé de la conduite d'hydrogène sous la voie de chemin de fer

Au niveau du choix des matériaux et des dimensions de la conduite, une analyse a été faite par GRZ, le mandataire de GHP. Le rapport technique établit les éléments suivants :

La pression de réglage du dispositif de sécurité (disque de rupture ou soupape de sécurité) a été fixée à 500 bar. La pression de service maximale est de 500 bar, ce qui correspond à la pression dans la conduite requise pour remplir des trailers jusqu'à 450 bar. Actuellement, les trailers sont remplis jusqu'à une pression de 350 bar, mais il semble que cette règle pourrait évoluer vers 450 bar. Dans cette idée d'anticipation que cette valeur de 450 bar a été choisie comme objectif.

La température d'opération considérée est comprise entre -20°C et 40°C. Le débit maximal considéré est de 350 kg_{H2}/h.

Le pipeline est constitué d'une double paroi. Le tube intérieur (tube haute pression) a un diamètre extérieur de 33.40 mm et une épaisseur de paroi de 6.35 mm (DN25 sch 160, tube sans soudure - acier inoxydable 316&316L (1.4401 & 1.4404), doublement certifié, par exemple le produit Sandvik 3R65). Le tuyau concentrique extérieur pour la protection contre les fuites possède un diamètre extérieur de 42.4 mm et une épaisseur de paroi de 2.0 mm.

A titre d'indication, voici la composition du produit Sandvik 3R65 [Tableau 1] :

-	Carbon, C	<= 0.030 %
-	Chromium, Cr	17 %
-	Iron, Fe	67.2 %
-	Manganese, Mn	1.7 %
-	Molybdenum, Mo	2.1 %
-	Nickel, Ni	11.5 %
-	Phosphorus, P	<= 0.040 %
-	Silicon, Si	0.40 %
-	Sulfur, S	<= 0.015 %

Tableau 1 : Composition exhaustive des éléments contenus dans l'acier qui constitue la conduite d'hydrogène à haute pression

En raison du diamètre de la conduite haute pression (DN25), l'évaluation basée sur la directive PED 2014/68/UE [directive des équipements sous pression] (resp. la correspondance dans la norme suisse CH DGV 930.114) indique de suivre l'article 4, paragraphe 3 (pratique d'ingénierie saine), comme le montre la Figure 6 ci-dessous. Les paramètres sont les suivants :

- Hydrogène gazeux = fluide groupe 1
- Diamètre de conduite <=DN25

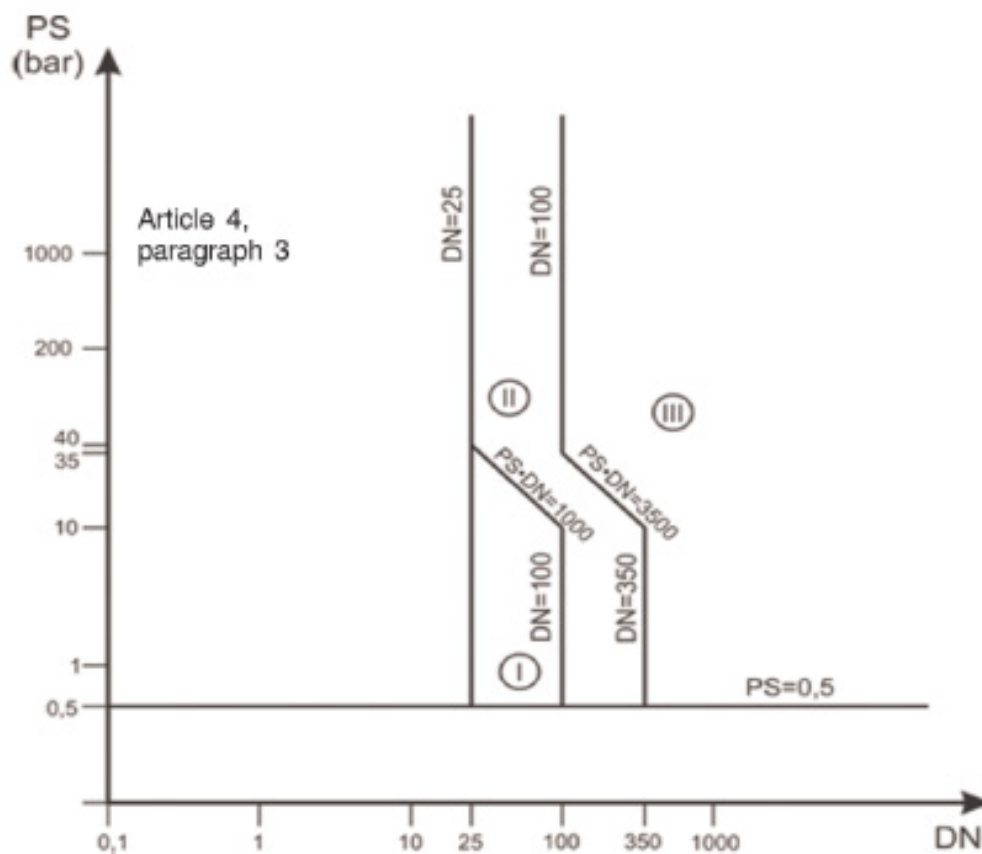


Table 6

Piping referred to in Article 4(1)(c)(i), first indent

Figure 6 : Indication des normes à respecter en fonction du diamètre et de la pression dans les conduites

Le calcul de la pression maximale admissible (y compris tous les facteurs de sécurité requis) donne une valeur de 638 bar, comme le montre la Figure 7 suivante.

- pipe outside dia :	mm	33.4			
- wall thickness:	mm	6.35			
- weight:	kg/m	5.7			
- weight:	kg/250m	1'425.00			
- pipe inside dia :	mm	20.7			
- tolerance wall thickness:	%	-12.5%			
- tolerance wall thickness, c1:	mm	-0.79			
- minimal pressurewall thickenss calculation, p1:	bar	35.0	190.0	320.00	638.00
- Rp1.0% at max. 40 °C:	N/mm2	240.0	(value to 1.4401&1.4404 to EN 10216-5)		
- min wall thickness considering pressure p1:	mm	1.16	2.67	3.83	6.35
- min wall thickness considering pressure p1:	bar	35.0	190.0	320.00	664.00
- Rp1.0% at max. 40 °C:	N/mm2	250.0	(value to Sandvik 3R65)		
		1.14	2.59	3.72	6.34

Figure 7 : Paramètres de calcul de l'épaisseur de la paroi de la conduite d'hydrogène à haute pression



Les calculs de GRZ ont été confirmés par l'entreprise Hecht cryo & gas expert gmbh qui a reçu le mandat de réaliser la construction des conduites d'hydrogène en acier inox.

Le mode opératoire prévoit 6 soudures pour chaque tronçon d'une longueur de 6 m par tronçon. Il est possible de faire environ 3 tronçons par jour, soit 18 m. Chaque soir, les soudures sont vérifiées aux rayons X.

Les normes considérées pour le dimensionnement de la conduite sous pression ainsi que pour le processus de soudure sont les suivantes :

- PED 2014/68/EU (directive européenne équipements sous pression)
- ISO 3834 (Exigences de qualité pour le soudage par fusion des matériaux métalliques)
- ISO 15614 (Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques — Épreuve de qualification d'un mode opératoire de soudage)
- ISO 15609 (Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques — Descriptif d'un mode opératoire de soudage)
- ISO 9606 (Épreuve de qualification des soudeurs — Soudage par fusion)
- ISO 14732 (Personnel en soudage — Épreuve de qualification des opérateurs soudeurs et des régleurs en soudage pour le soudage mécanisé et le soudage automatique des matériaux métalliques)
- ISO 9712 (Essais non destructifs — Qualification et certification du personnel essais non destructifs)

Ci-dessous, l'avis de conformité du matériel par GRZ [Figure 8] :



KONFORMITÄTSERKLÄRUNG des Herstellers über die Fertigung und Prüfung von Druckgeräten nach der Richtlinie 2014/68/EU

Druckgerät: Pipeline Kategorie: NA

Hersteller: GRZ Technologies SA
Route de la plaine 47
CH-1580 Avenches

Fabrikations-Nr.: 2023 0007
Herstelljahr: 2023
Zeichnung-Nr.: XXXXXX / Date: XX.XX.XXX

Medium / Fluid-Gruppe:		Pipeline
		Wasserstoff
		Fluidgruppe 1
Volumen [L]	V	32.19
Min./max. zul. Druck [bar]	PS	-1 / 502.7
Min./max. zul. Temp. [°C]	TS	-22 / 55
Prüfdruck [bar]	PT	553
Prüfmedium:		Stickstoff
Prüfdatum:		

Konformitätsbewertungsverfahren: Modul A
Kennzeichnung: CE 1253 5CH4
Sicherheitstechnische Ausrüstung: Vakuumkammer

Die alleinige Verantwortung für die Ausstellung dieser Konformitätserklärung trägt der Hersteller:
GRZ Technologies SA CH-1580 Avenches

Der oben beschriebene Gegenstand der Erklärung erfüllt die einschlägigen Harmonisierungsrechtsvorschriften der Europäischen Union:
Hiermit wird bescheinigt, dass das beschriebene Druckgerät ohne Ausrüstung den Anforderungen der Richtlinie 2014/68/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 entspricht.

Das Druckgerät erfüllt die Anforderungen des AD2000 Regelwerkes in der zur Zeit gültigen Ausgabe.

Die Erklärung erfolgt auf Grundlage der EU-Konformitätsbescheinigung:

Zertifikat-Nr.: PED-Z-COS.EP.

Konformitätsbewertungsstelle (Benannte Stelle) CE 1253 für Druckgeräte
Swiss Safety Center AG

Hinweise für den Betreiber sind der entsprechenden Betriebsanleitung zu entnehmen.

Ort und Datum: Avenches 12.04.2023
Stempel des Herstellers:
Name, Funktion, Unterschrift:

FO56100d / 17.04.2023

MQA-1573_Konformitätserklärung_CH-010_rev.03

Figure 8 : Avis de conformité du matériel utilisé validé par le SSC



2.1.9 Instrumentation et mesures de sécurité

La conduite d'hydrogène est installée à l'intérieur d'une conduite de protection, telle que représentée en vert dans la Figure 3. En opération normale, l'espace entre la conduite d'hydrogène et la conduite de protection ne contient pas d'hydrogène. Une fuite éventuelle de la conduite d'hydrogène serait confinée à l'espace libre dans la conduite de protection. Ainsi, la détection d'une fuite éventuelle se fait soit en mesurant la concentration d'hydrogène dans cet espace grâce à une sonde, soit en mesurant la variation de pression dans ce volume entre la conduite d'hydrogène et la conduite de protection.

Des obturateurs sont installés aux deux extrémités de la conduite de protection pour isoler le volume entourant la conduite et permettre une détection optimale d'une éventuelle fuite d'hydrogène. Ainsi, en cas de fuite sur la conduite, l'hydrogène sera confiné entre le fourreau et la conduite haute pression et sera immédiatement détecté par l'un des deux capteurs situés aux extrémités de la conduite.

Deux vannes de sécurité sont installées en amont et aval de la conduite. En cas de détection d'hydrogène, les vannes sont fermées automatiquement et de façon sûre et une alarme est envoyée.

En cas d'alarme, la conduite extérieure est purgée automatiquement par de l'azote afin d'évacuer l'hydrogène présent dans le système. Tout le système est piloté automatiquement par des vannes et des capteurs de pression qui permettent de mesurer la pression d'un volume à un autre.

Une séparation galvanique est installée à chaque extrémité de la conduite. Le joint de séparation est réalisé en PCTFE, avec un enrobage en ECTFE. La résistance diélectrique est de 3000 Volt. De plus, un éclateur avec une capacité de courant de fuite de 5000 A sera installé sur chaque séparation galvanique. La température ambiante permissible du système sélectionné est de -20°C à 80°C. Le système est certifié ATEX. Une image illustrative de la séparation galvanique planifiée est montrée dans les deux figures suivantes Figure 9 et Figure 10, la deuxième avec l'éclateur prévu.

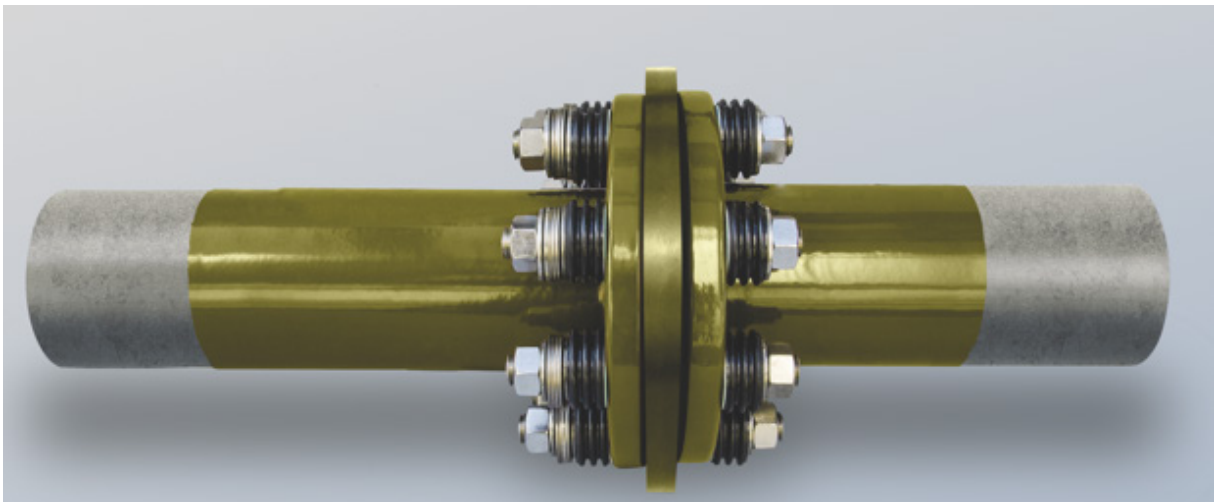


Figure 9 : Système de séparation galvanique (modèle sans éclateur)

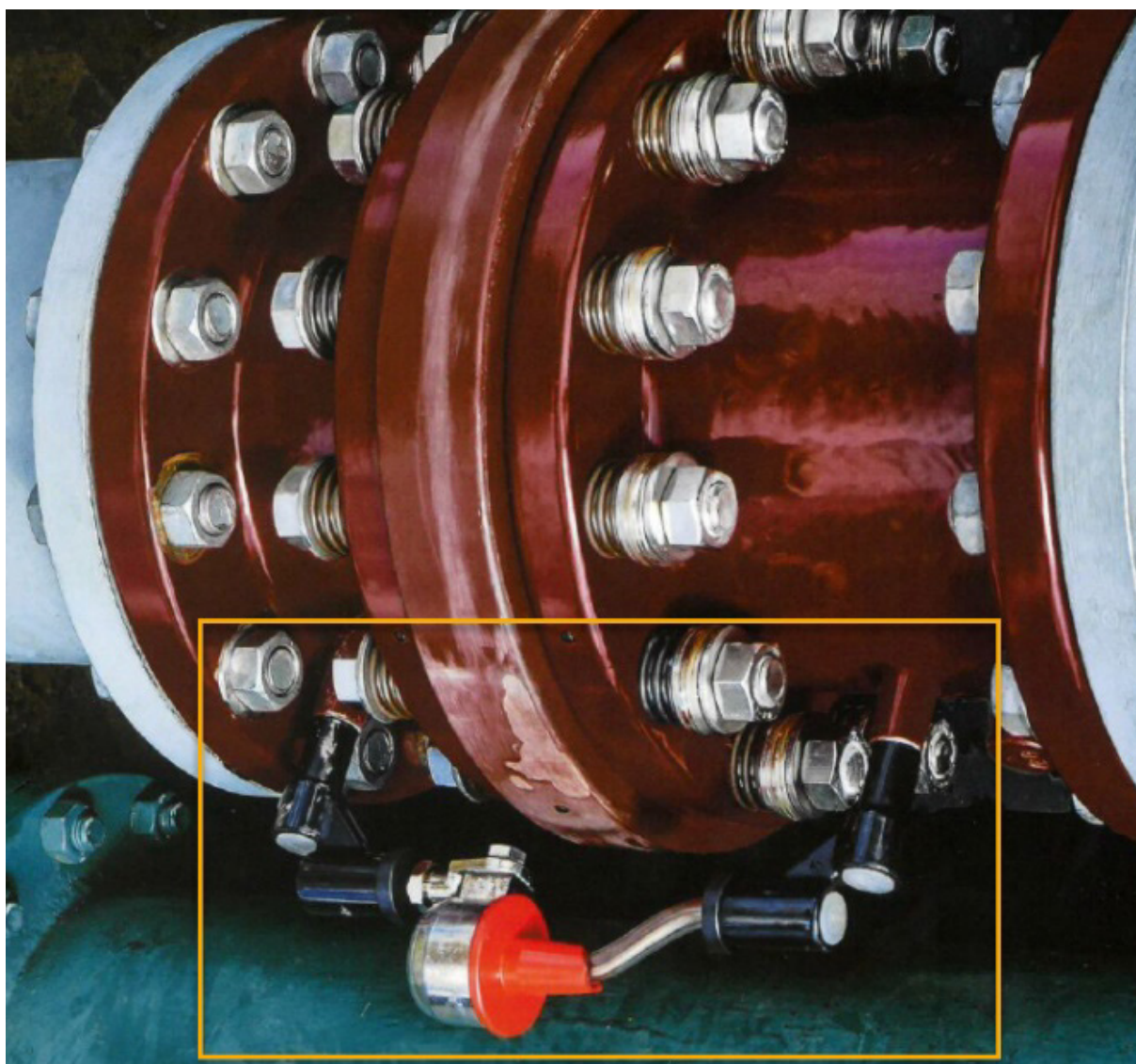


Figure 10 : Système de séparation galvanique (avec éclateur)

2.1.10 Lot économique

Dans la demande d'octroi pour une subvention, GHP a élaboré une série d'hypothèses qui permettent de comparer la solution d'une fourniture d'hydrogène par trailer avec la solution par conduite de transport à haute pression.

Les coûts de chaque solution de fourniture d'hydrogène dépendent de plusieurs hypothèses. Le modèle tente de déterminer d'abord les coûts d'investissement de chaque solution et ensuite les coûts d'exploitation. Les hypothèses sont les suivantes :

Pour la solution par camion, on suppose un coût de 300'000 CHF/camion, un amortissement de 4 ans, un chargement de 300 kg d'H₂ par trajet, 2 camions à utiliser, une consommation de 40'000 kg d'H₂/an, ce qui donne le nombre de trajets selon le débit journalier. Ces éléments permettent de dé-



terminer un coût annuel de ce transport d'hydrogène. Le coût diminue légèrement si le débit augmente, mais ce n'est que marginal car il faut augmenter le nombre de trajets. Cela ne fait que mieux absorber l'amortissement de l'investissement dans les camions. Le prix d'un transport de l'hydrogène à 6 à 7 CHF/kg H₂ semble cohérent par rapport à la connaissance des prix du marché chez les fournisseurs historiques.

Pour la solution par pipeline haute pression, on suppose un investissement de base ainsi qu'un coût au mètre de conduite pour déterminer la totalité de l'investissement. Ce dernier, estimé à CHF 1'025'000, est amorti sur la quantité d'hydrogène qui sera fourni annuellement.

On a également supposé très approximativement et arbitrairement un coût d'exploitation de 400 CHF/an/m. Ce chiffre est bien sûr à évaluer après 1 ou 2 années d'expérience. L'influence du débit journalier sera plus importante avec le pipeline que pour les camions.

L'intérêt du graphique est de déterminer approximativement à partir de quelle longueur de pipeline et quel débit journalier, on peut considérer qu'il est plus intéressant de fournir l'hydrogène avec une méthode plutôt qu'avec une autre.

En résumé, le graphique ci-dessous Figure 11 présente à partir de quelle distance de conduite et quelle quantité d'hydrogène la solution d'une conduite est plus intéressante :

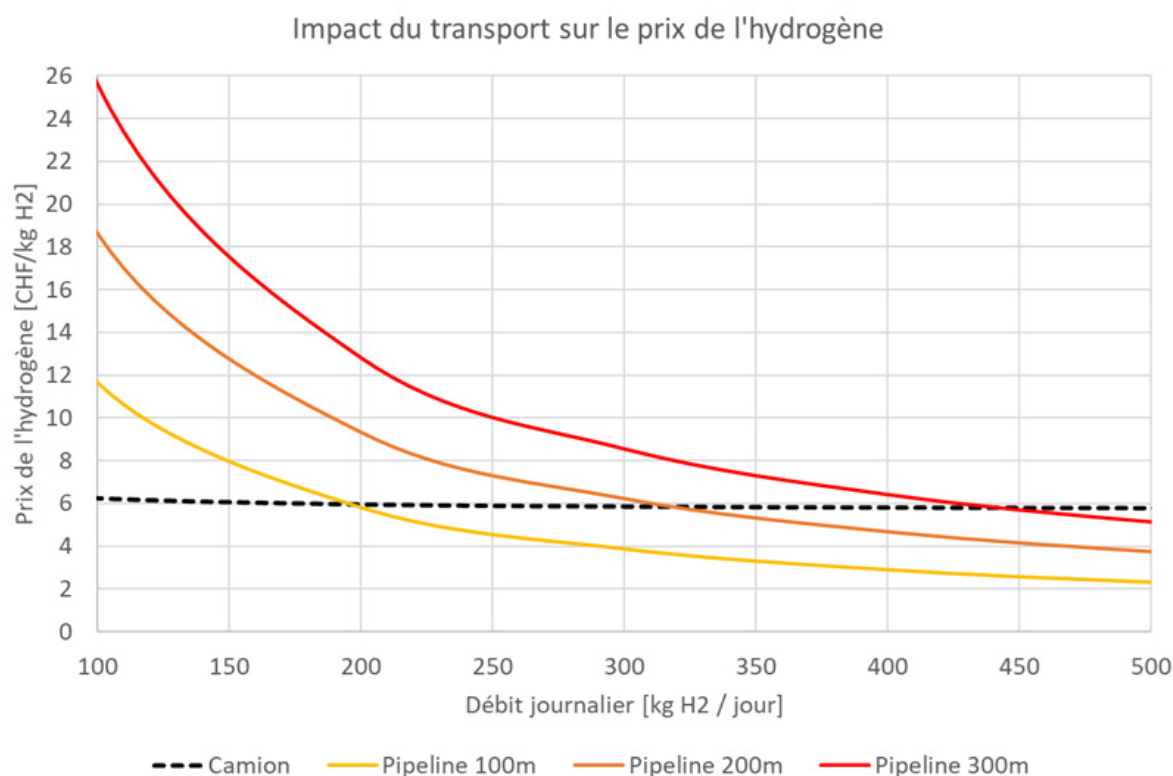


Figure 11 : Comparaison du prix du transport de l'hydrogène par camion et par pipeline en fonction du débit journalier d'hydrogène fourni

2.2 Réalisation (2023)

2.2.1 Lot administratif

Dans la procédure d'autorisation de construire, la conduite de transport d'hydrogène haute pression, le bâtiment et l'installation d'hydrogène faisait partie d'un même dossier au moment de l'enquête préalable.



Pour l'enquête ordinaire, la conduite de transport d'hydrogène à haute pression et le bâtiment (avec l'installation d'hydrogène) ont fait l'objet de deux procédures séparées.

- Comme pour toute construction, le permis a été octroyé par le Service des constructions et de l'aménagement du canton de Fribourg (SeCA) et par les autorités suivantes qui ont été consultées Un préavis favorable de la part de la Commune de Bulle
- Un préavis favorable sans condition de la part de l'ECAB, du SdE et du SMO.
- Un préavis favorable avec conditions de la part du SEn, du SAEF et des TPF

Aucune des conditions émises par les services consultés n'était liée à la présence d'hydrogène, à part peut-être pour la convention avec les TPF qui spécifie explicitement une surveillance et un entretien particulier de l'infrastructure.

Cependant, il n'y a eu aucun élément compliqué à démontrer, mise à part peut-être le fait que la construction de cette conduite n'est pas soumise à une procédure OPAM.

2.2.2 Génie-civil

Tous les travaux de préparation des cellules de départ et d'arrivée ont été faits durant la période d'avril à juin 2023.

Par rapport à la planification, la réalisation s'est faite conformément aux spécifications prévues.

La réalisation a commencé par un appel d'offres. Peu d'entreprises sont capables de faire ce genre de prestations avec des travaux spéciaux. Ainsi, c'est surtout la disponibilité des machines qui a prévalu dans le choix du prestataire. Avec ce genre de travaux, c'est le facteur « temps » qui est déterminant. C'est pourquoi, la coordination avec le reste du chantier était très importante, de manière à n'avoir à aucun moment des machines qui ne sont pas utilisées.

Le forage dirigé a été réalisé dans un premier temps Figure 12 et Figure 13.





Figure 12 : Machine servant au forage dirigé pour l'introduction d'un fourreau de réserve pour mettre un câble électrique – hors fourreau contenant l'hydrogène



Figure 13 : Cellule d'arrivée du côté de Liebherr

Dans un deuxième temps, la cellule nécessaire à la creuse du tunnel a été réalisée avec des parois berlinoises en raison de la dimension et la profondeur de la cellule. Le forage a été ensuite effectué en travaux spéciaux avec un marteau fond de trou [Figure 14, Figure 15, Figure 16, Figure 17].

Un élément imprévu est survenu lors de la réalisation du tunnel, c'est la forte présence d'eau de nappe. Ainsi, afin d'éviter de contaminer les eaux claires, il a été décidé de rajouter un bac de décantation des matériaux de boue. Ceci n'était pas prévu dans le plan initial, ce qui a renchérit le projet de manière non négligeable.



Figure 14 : Cellule de départ du côté GHP avec un coffrage en bois en raison de la longueur (20 m) et la profondeur (3 m) nécessaire pour l'introduction de la conduite hydrogène soudée de manière rectiligne



Figure 15 : Cellule de départ côté GHP

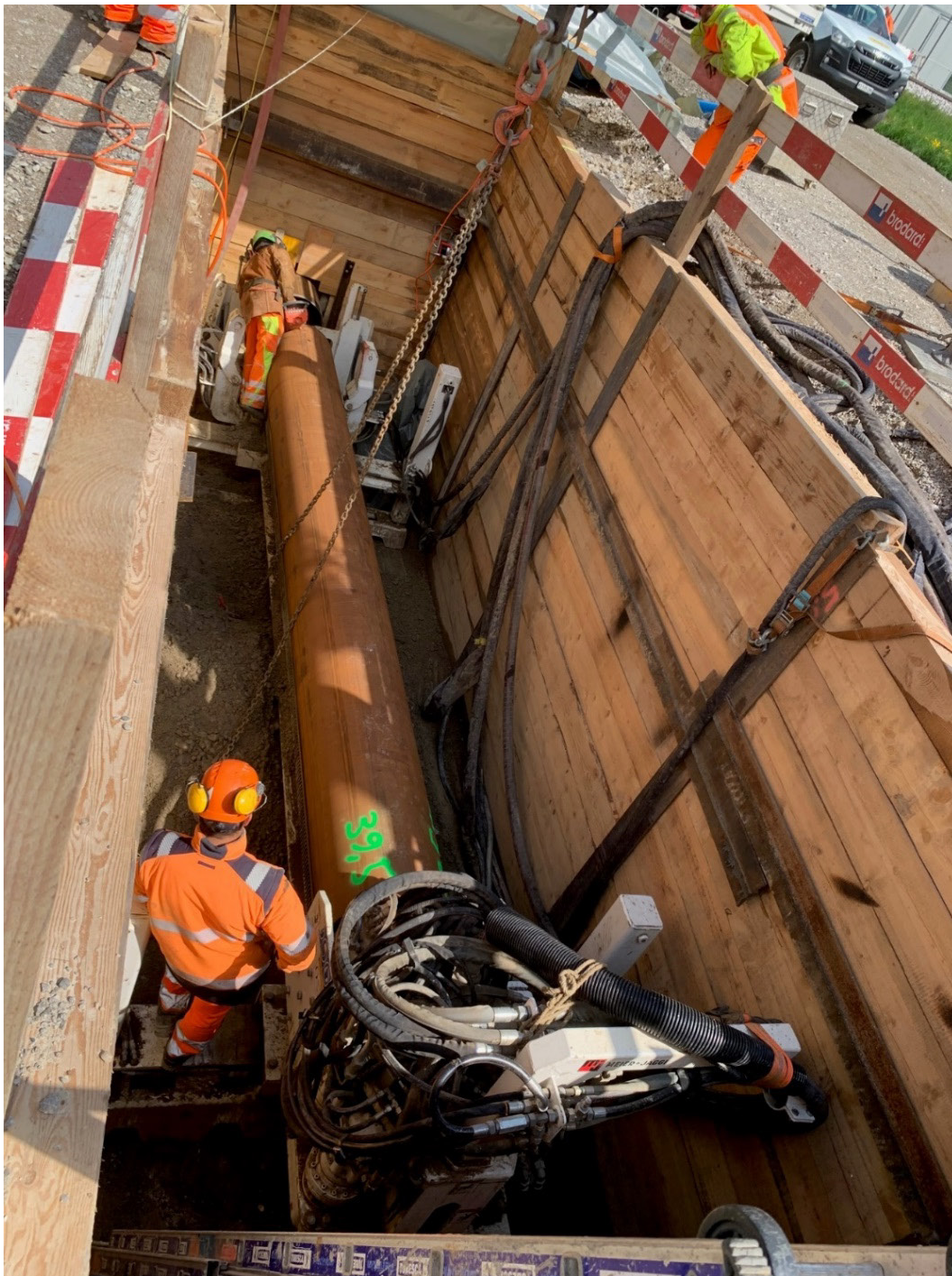


Figure 16 : Tunnelier en pleine action qui a permis de réaliser un trou le plus rectiligne possible



Figure 17 : Ensemble des tuyaux contenus dans le fourreau en acier selon la coupe présentée à la figure 3

2.2.3 Construction

La réalisation du pipeline s'est déroulée comme planifiée avec l'objectif de poser un fourreau en acier le plus rectiligne possible [Figure 18].

Avant de procéder à la pose des conduites en acier, il convient de remarquer la place nécessaire pour stocker les machines de forages, les tubes, mais également les cadres de bouteilles de gaz nécessaires au processus de soudure. On en voit une illustration ci-dessous [Figure 19]:



Figure 18 : Fourreau en acier qui contient l'ensemble des tuyaux ; on voit la rectiligne en apercevant la lumière de l'autre côté



Figure 19 : Place de stockage pour le gaz de soudure

Les conduites en acier dont on voit le détail ci-dessous ont été soudées par secteur de 6 m [Figure 20, Figure 21, Figure 22, Figure 23, Figure 24].



Figure 20 : Place de travail des soudeurs qui assemblent des tronçons de 6 m par 6 m



Figure 21 : Illustration de l'épaisseur des parois des conduites d'hydrogène à haute pression ; il y a 6 soudures par jonction



Figure 22 : Moment de l'introduction de la conduite d'hydrogène haute pression sur laquelle il faut appliquer le minimum de courbure



41/58

Le tracé final de la conduite souterraine d'hydrogène à haute pression est indiqué sur le plan suivant [Figure 25] :

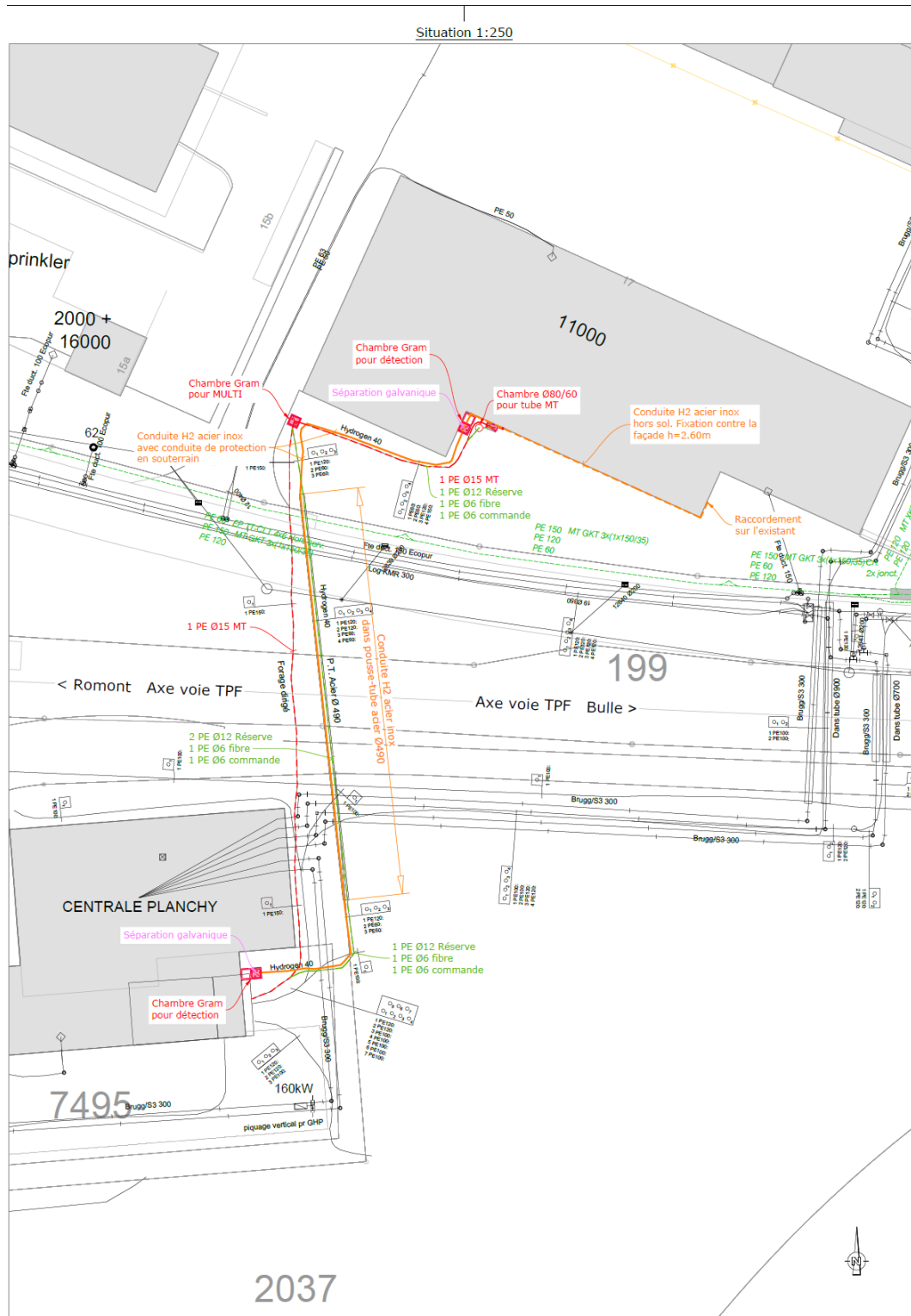


Figure 25 : Plan final de la conduite hydrogène haute pression correspondant en grande partie au plan fourni lors de la mise à l'enquête (figure 4)



Figure 26 : Exemple de protocole de contrôle de fuite par rayons X

Le module de séparation galvanique dans la chambre [Figure 27, Figure 28] :



Figure 27 : Installation de séparation galvanique de la conduite hydrogène dans une des chambres

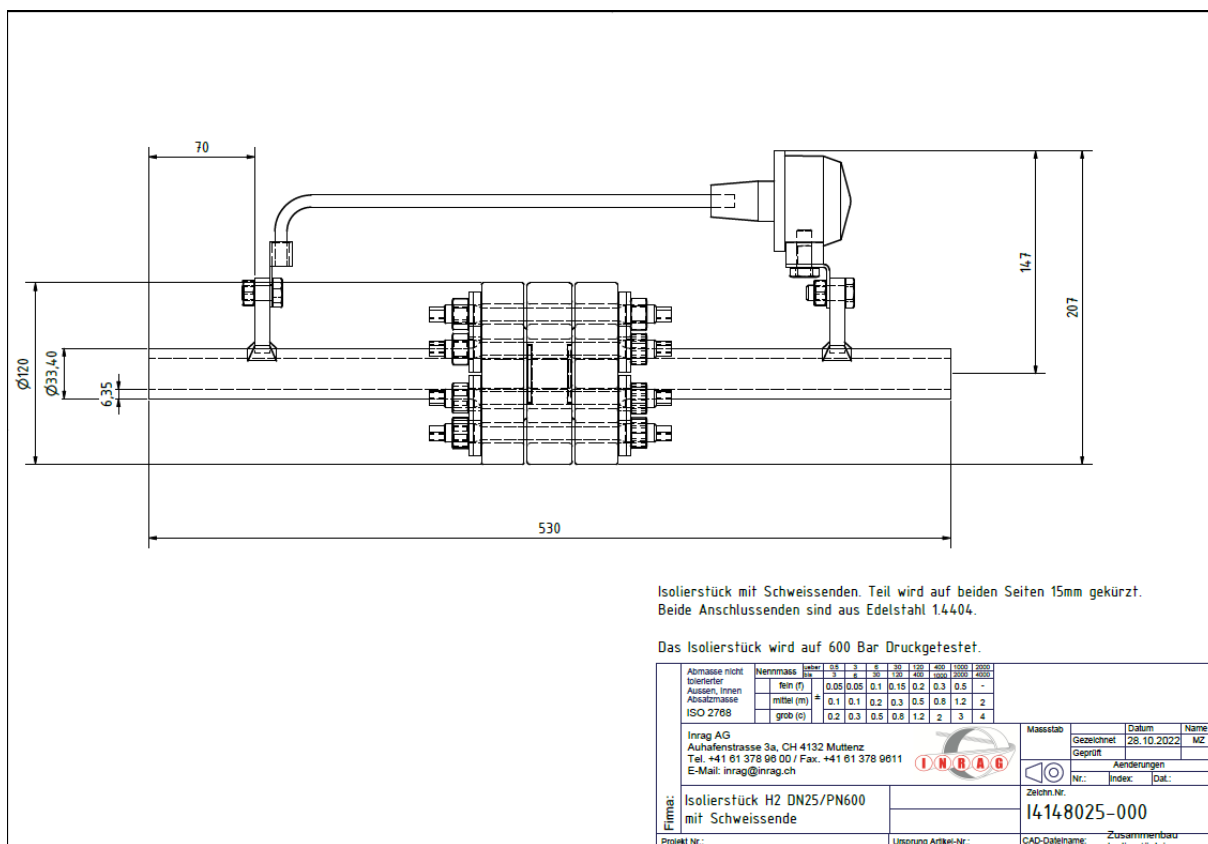


Figure 28 : Description schématique de la séparation galvanique

Finalement, GHP n'a pas implémenté les deux systèmes de détection comme prévu. En effet, la détection de l'hydrogène par deux détecteurs aux extrémités de la conduite n'aurait pas augmenté la sécurité de l'ensemble. La détection de la variation de pression est beaucoup plus réactive que la détection de la concentration d'hydrogène. Par conséquent, c'est un système redondant de capteurs de pression mesurée entre les deux tuyaux qui assure la détection de fuite.

Les instruments de mesure de la pression ont été installés sur le « panel 8 » côté GHP et le « panel 10 » côté Liebherr selon le schéma PID suivant [Figure 29] :

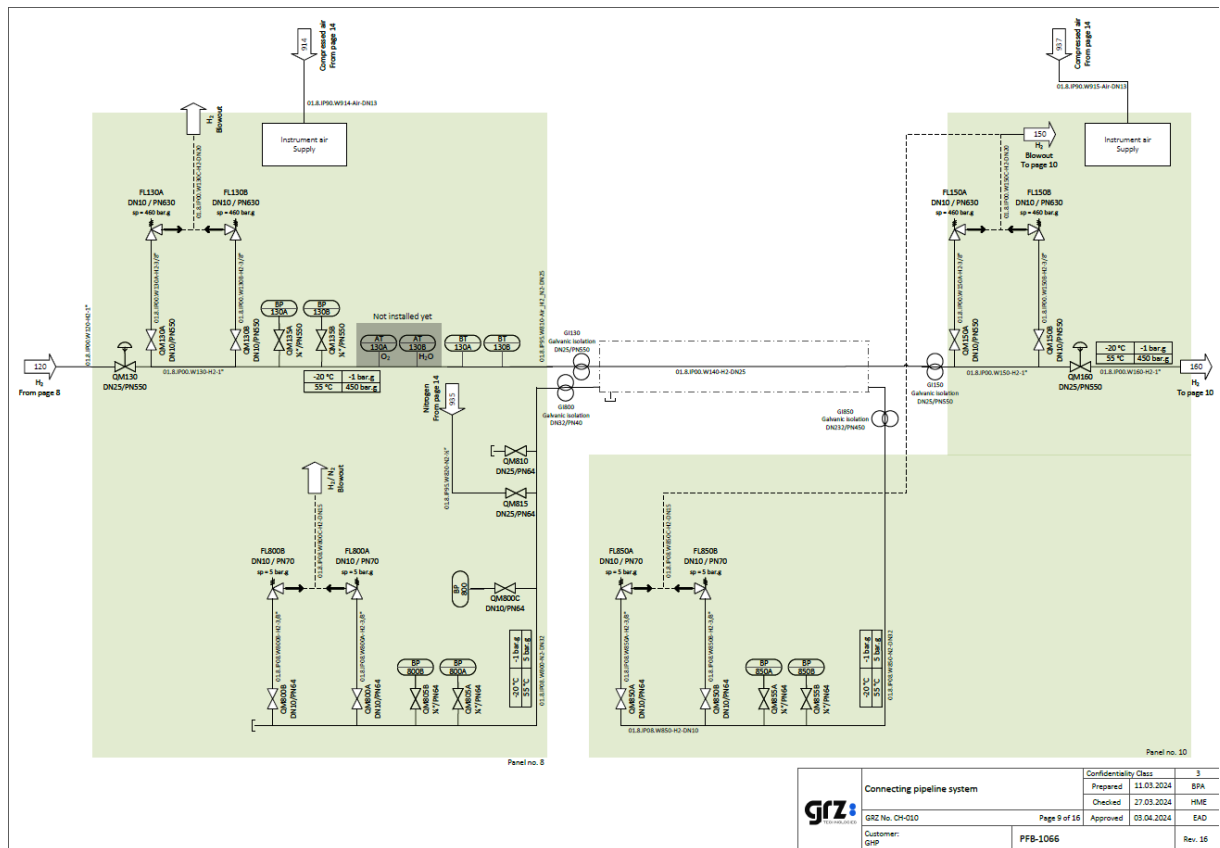


Figure 29 : Schéma PID qui décrit l'instrumentation de chaque côté de la conduite hydrogène

2.2.5 Lot économique

Le but de ce chapitre est d'établir la liste des coûts de réalisation de la conduite souterraine d'hydrogène à haute pression. Les montants les plus précis concernent la partie génie civil, car le travail était bien ciblé sur une seule prestation. Pour les autres postes, il est difficile d'établir avec précision la valeur, car les prestations ont été réalisées par des personnes ou des mandataires qui n'ont pas réalisé que la conduite d'hydrogène, mais également d'autres parties de l'installation. Les postes et les montants sont les suivants [Tableau 2]:



<i>Poste</i>	<i>Montant [en CHF]</i>
Génie civil (cellules et forages)	300'000
Génie civil (fouilles ouvertes)	50'000
Honoraires interne suivi GC	50'000
Honoraires externes divers (Géologue, SGK)	10'000
Conduite acier inox – montage et soudures	350'000
Honoraires de planification bureau spécialisé	125'000
Contrôle rayons X	50'000
Matériel et instruments de mesure	100'000
Honoraires automation, régulation, tests	50'000
Honoraires internes planification, coordination	110'000
TOTAL	1'195'000

Tableau 2 : Valeurs principales des coûts de la conduite d'hydrogène par poste

La distance de la conduite souterraine réalisée avec un forage s'élève à 50 m et la distance de la conduite souterraine posée dans une fouille ouverte mesure 40 m.

Le coût total réel de la conduite haute pression est de CHF 1'195'000.-, soit CHF 170'000.- de plus que les estimations faites lors de l'annonce du projet (réf. Figure 11).

2.3 Exploitation (2024)

A l'heure d'écrire le présent rapport, il n'y a pas encore de résultat concret sur l'utilisation de la conduite d'hydrogène à haute pression et la livraison d'hydrogène auprès du principal client, le groupe Liebherr. Les raisons sont les suivantes :

- La mise en service du compresseur d'hydrogène a été retardée. Par conséquent, l'hydrogène ne peut être transporté à plus de 35 bar pour l'instant.
- La livraison d'hydrogène à Liebherr sera testée dans des conditions de basse pression dès le début de juillet 2024
- Un stockage intermédiaire d'hydrogène, sous la forme d'un cadre de bouteilles à haute pression (300 bar) sera installé à la sortie du pipeline avant le point de fourniture, ceci afin de « lisser » la consommation fluctuante d'hydrogène de Liebherr avec l'utilisation des moteurs.

Pour rappel, la conduite de transport d'hydrogène a été dimensionnée pour fournir un débit de 350 kg H₂/heure à une pression de 500 bar. Or, dans les premiers mois d'exploitation, à savoir durant les 6 derniers mois de l'année 2024, il est prévu de fournir l'hydrogène à un débit de 40 kg H₂/heure à une pression de 35 bar. A ces conditions, selon les calculs qui avaient été effectués par GRZ Technologies, il ne devrait y avoir quasiment aucune perte de charge dans la conduite. De plus, comme la longueur de la conduite est faible, cette perte de charge est négligeable.

Dans les étapes finales de mise en service, on peut mentionner qu'un test de pression a été effectué le avec de l'azote à 550 bar par l'entreprise Hecht qui a construit la conduite haute pression.

En faisant référence au déroulement du processus de construction décrit dans le guide de recommandation H1000 de la SVGW, il ne reste plus qu'à appliquer les étapes du chapitre 12 qui concernent la mise en service. Toutes les autres étapes ont été réalisées et sont décrites dans le présent rapport.

Le système de supervision de l'ensemble de l'installation de production d'hydrogène permet de piloter l'ensemble des organes et en particulier de connaître la situation dans la conduite d'hydrogène à



haute pression. Le système de détection de fuite remonte les éventuelles alarmes provenant des capteurs posés aux deux extrémités de la conduite et détectant une variation de pression.

En plus de la pression, des mesures permanentes de concentration de l'oxygène et de l'humidité dans le flux de gaz à l'entrée de la conduite d'hydrogène permettent de déterminer s'il y a un changement de qualité de la pureté d'hydrogène.



3 Résultats et commentaire

3.1 Résultats

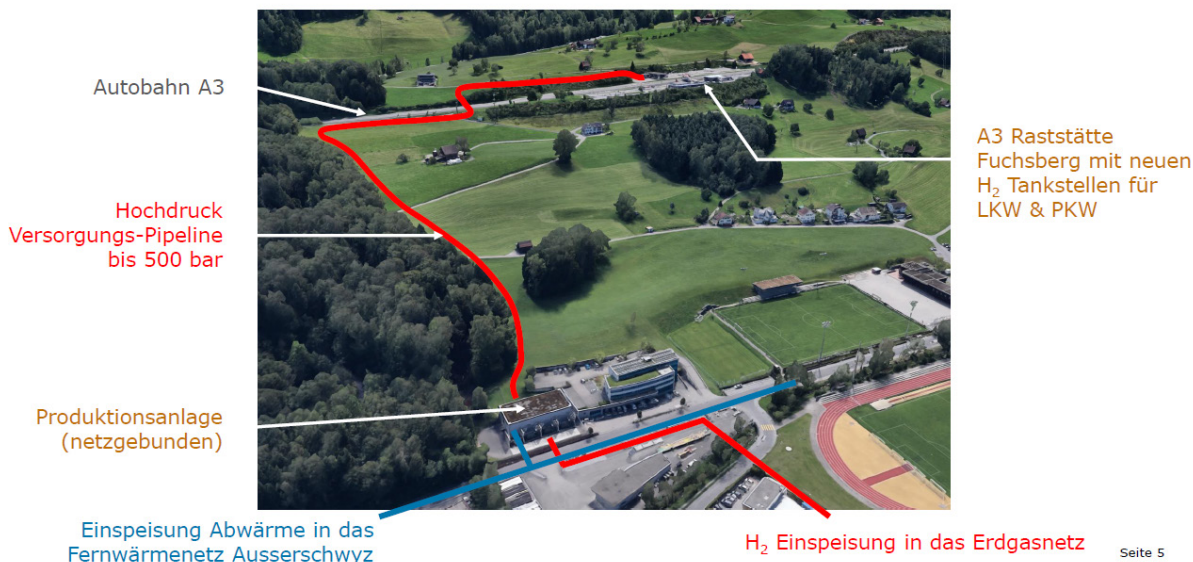
Le résultat de l'opération réalisée sur ce projet se mesure en comparant les éléments décrits dans la planification et effectivement réalisés lors de la construction.

3.1.1 Lot administratif

Comme il a été dit dans les chapitres précédents, GHP a constaté un cadre réglementaire vide en Suisse au moment de ses premières réflexions sur le principe de transporter de l'hydrogène grâce à une conduite souterraine.

Le projet de GHP n'était pas le seul à ce moment-là où on parlait de connecter la production et la consommation d'hydrogène grâce une conduite d'hydrogène à haute pression. Il y avait également par exemple le projet d'une installation de production d'hydrogène à Freienbach, emmené par EW Höfe [Figure 30]. Ce projet n'est pas réalisé à ce jour, avant tout pour des raisons économiques. C'est une construction intéressante, car ils prévoient de faire la même chose que GHP, cependant sur une distance d'environ 1 km de conduite. Assurément, l'expérience menée par GHP peut servir à leur futur projet.

Standort und Anlagen



Seite 5

Figure 30 : Exemple du pipeline envisagé dans le cadre du projet de EW Höfe à Freienbach

Etant donné le contexte de quelques projets qui planifiaient la construction de « pipelines » d'hydrogène. L'OFEN et la SGVW ont rapidement travaillé sur la définition d'un cadre ou au moins de recommandations pour la réalisation de telles infrastructures. Ceci a découlé sur la sortie en avril 2023 du document H1000 des recommandations de la SVGW concernant l'étude, la construction et l'exploitation des canalisations d'hydrogène. De plus, le cadre légal a également été modifié à partir du 1^{er} juillet 2023, puisque dorénavant, l'hydrogène fait partie du domaine soumis à l'OITC.



Mise à part le flou et les incertitudes de départ, GHP n'a pas été préterité par cette situation. La procédure qui a finalement été appliquée correspond à ce qui aurait été fait si la recommandation de la SVGW était sortie avant le début de la procédure de demande d'autorisation de construire.

Premièrement, il s'agit d'une canalisation de moins de 100 m et deuxièmement, elle a un diamètre inférieur à 6 cm. Selon ces critères, le projet n'est pas soumis à la LITC. C'est donc sur une base légale cantonale que le permis de construire a été octroyé. GHP a dû transmettre les éléments usuels d'une demande de permis de construire, à savoir une liste de plans de détails, avec une étude d'impact sur l'environnement, complétée par une convention signée avec le propriétaire de la voie de chemin de fer traversée.

3.1.2 Génie-civil

Le travail de génie civil s'est déroulé conformément à la planification. Quelques arrivées d'eau de nappe ont compliqué un peu les travaux. Il a fallu retenir un peu les matériaux dans un bac de rétention avant l'évacuation aux eaux claires. Sinon, le programme a été respecté et le fourreau qui contient la canalisation d'hydrogène a pu être installé de façon aussi rectiligne que possible. Ces travaux spéciaux ont été réalisés avec une entreprise expérimentée du domaine.

3.1.3 Construction

Pour la construction de la conduite, le principal défi fut de réussir à coordonner l'entreprise en charge du génie-civil avec celle qui construit et pose la canalisation d'hydrogène. Le coût des machines pour des travaux spéciaux implique une parfaite synchronisation avec l'entreprise spécialisée dans les soudures de manière à laisser le moins de plage possible d'inactivité. Le personnel de l'entreprise allemande mandatée pour la construction de la canalisation vient de Croatie où des compétences spécifiques de soudeur ont été recrutées. De plus, il convient de planifier chaque soir l'entreprise qui viendra vérifier avec des mesures rayons X les travaux de la journée. Ce sont des tronçons d'une vingtaine de mètres qui sont faits en 1 jour.

De manière générale, la conduite d'hydrogène a été réalisée conformément à la planification envisagée. Toutes les spécificités (type acier, épaisseur, diamètre) ont été réalisées selon les études et plans de départ.

3.1.4 Instrumentation et mesures de sécurité

La détection de fuite dans la conduite d'hydrogène a été mise en œuvre d'une manière plus simplifiée que ce qui était annoncé dans la planification. Le système à deux tuyaux concentriques avec un manteau extérieur qui entoure la conduite d'hydrogène a été maintenu. Cependant, seule une différence de pression est mesurée entre les deux tuyaux. Avec des doubles capteurs aux deux extrémités de la conduite, il a été estimé que cette solution était suffisante pour indiquer une alarme de fuite. Ainsi, le système de mesure de concentration d'hydrogène entre les deux tuyaux n'a pas été installé, car il n'aurait pas eu une assez grande réactivité en cas de fuite. Il n'aurait donc apporté aucune sécurité supplémentaire.

Le taux d'oxygène et le taux d'humidité sont mesurés à l'entrée de la conduite d'hydrogène. Ce n'est bien sûr pas une façon absolue de mesurer la pureté de l'hydrogène, mais cela permet au moins de connaître la proportion des impuretés dans le flux d'hydrogène. Et sur un système d'électrolyse de l'eau, il ne devrait pas y avoir beaucoup d'autres éléments comme du soufre ou du carbone.

De manière générale, tous les équipements tels que vannes motorisées, capteurs de pression, détecteurs ou encore débitmètres ont des délais de livraison très longs. La fourniture des débitmètres a été une mauvaise expérience. Non seulement, les délais de fourniture sont longs, mais en plus, les fournisseurs ne maîtrisent pas forcément leurs produits. GHP a fait une demande spécifique pour mesurer des débits d'hydrogène à basse et à haute pression. Un fournisseur a confirmé qu'il pouvait offrir ce



genre de produits avec des compteurs ultrasons. Or, il s'est avéré que ce produit n'existait pas et la solution d'une mesure Coriolis sera plus adaptée.

Les références sur le sujet des conduites de transport d'hydrogène en Suisse sont peu nombreuses. Cependant, le rapport de CSD [référence] sur le sujet et paru en décembre 2023 constitue une base d'information intéressante. Ce document permet d'élargir la connaissance sur les règles de sécurité. Les conclusions du rapport insistent sur la référence à l'OSITC qui est applicable tant aux conduites tombant sous la compétence de la Confédération qu'à celles tombant sous la compétence des cantons. Même si GHP n'est pas soumis à la LITC, cela ne veut pas dire qu'il faut ignorer et ne pas tenir compte des conclusions de cette étude qui dit en substance : « *En ce qui concerne l'hydrogène pur, les modélisations effectuées montrent que le feu de torche produit des effets moins graves par rapport à une fuite de méthane, néanmoins, les effets et la probabilité d'une explosion sont actuellement méconnus. Étant donné que les distances de sécurité présentées dans l'OSITC permettent essentiellement de réduire la fréquence de rupture liée à une intervention de tiers, celles-ci sont également pertinentes pour le transport d'hydrogène pur* ».

GHP constate que les règles de sécurité pour ce type de conduite n'ont pas été spécifiquement établies à partir d'un document référence. C'est l'étude d'impact sur l'environnement et l'analyse de risques qui font foi. Pour le futur de tels projets d'infrastructure de conduites d'hydrogène, le but est de suivre les travaux de recherche en cours et de prendre en compte les résultats futurs pour les évaluations à venir. GHP va vérifier l'applicabilité des distances de sécurité indiquées dans l'OSITC, indépendamment de la substance transportée.

3.1.5 Lot économique

Une détermination précise des coûts d'investissements pour chaque poste est un exercice compliqué et approximatif. Il faut voir le montant dans sa globalité. Des montants n'ont pas encore été dépensés, car le projet se trouve dans le début de la phase de test et de mise en service. Cela concerne principalement le poste des honoraires pour la régulation et les tests.

La figure 11 du présent rapport représente le graphique qui découle des hypothèses de GHP pour comparer économiquement une solution de transport d'hydrogène par conduite haute pression et par camion. Dans le modèle de planification, le coût de la conduite de transport avait été estimée à CHF 1'025'000.--. Or, après la construction de la conduite d'hydrogène, l'évaluation des coûts s'élève au total à CHF 1'195'000.— [Tableau 2]. Un écart de 16% par rapport à l'estimation des coûts faite lors de la phase d'étude semble encore acceptable, compte tenu des incertitudes qui ont mené au calcul de la somme totale. On peut donc considérer que ce modèle de comparaison utilise une base d'investissement applicable.

Le résultat global de référence du coût d'investissement est ainsi calculé à 13'275 CHF/mL. Ce résultat est plus intéressant en considérant chaque poste séparément:

Génie civil forage (y compris honoraires GC) : 7'000 CHF/mL

Génie civil fouille ouverte : 1'500 CHF/mL

Si on soustrait les coûts pour la partie génie civil (y compris honoraires GC), les coûts de construction de la conduite haute pression d'une longueur de 90 m s'élèvent à 8'800 CHF/mL. Le détail est le suivant :

Construction : 3'900 CHF/mL

Instrumentation et mesures de sécurité : 1'600 CHF/mL

Honoraires : 3'300 CHF/mL

Par rapport aux hypothèses faites au moment de la planification, le coût d'exploitation de la conduite d'hydrogène est difficile à établir plus précisément tant qu'il n'y a pas eu quelques mois de fonctionnement. Le constat fait par GHP après la phase de réalisation tend à diminuer ce coût d'exploitation qui



avait été estimé à 460 CHF/an/mL. En effet, il s'agit d'une situation assez statique où les instruments mesurent les propriétés d'un flux d'hydrogène. Ce coût concerne principalement la consommation d'électricité et d'azote pour le pilotage des vannes et les purges du système. Une hypothèse à 400 CHF/an/mL semble plus adéquate.

La Figure 11 montrait graphiquement la comparaison du prix de l'hydrogène transporté par la route ou par pipeline haute pression, en fonction de la longueur du pipeline et le débit journalier de vente d'hydrogène. La Figure 31 illustre la même comparaison avec les valeurs déduites de la réalisation du projet, à savoir des valeurs pour une conduite à haute pression.

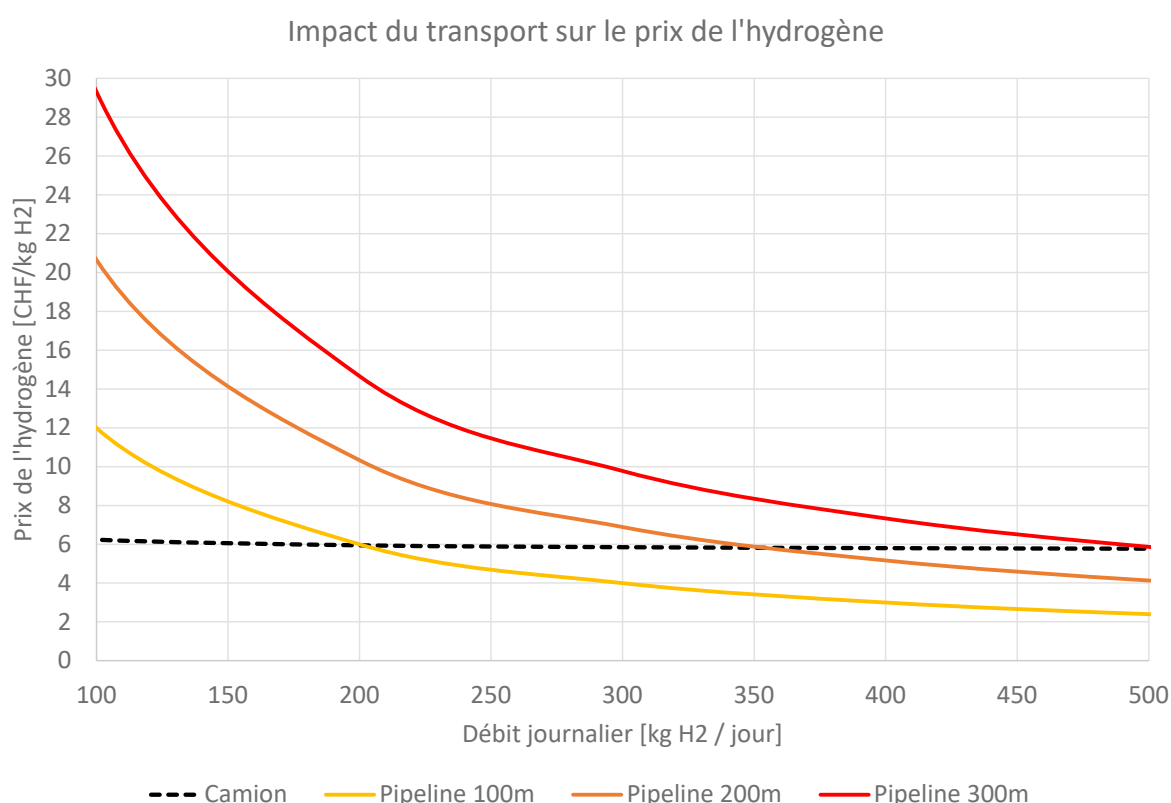


Figure 31 : Modèle utilisé dans la figure 11 et repris ici avec les coûts réels de réalisation avec une hypothèse à environ 7'800 CHF/mL pour la construction des conduites haute pression sans tenir compte de la partie forage.

La réalité du projet traite d'une conduite haute pression. Le choix de la haute pression s'est fait en raison d'une distance inférieure à 100 m. Or, il est assez logique de penser que la construction de conduites de transport d'hydrogène de plusieurs centaines de mètres, voire quelques kilomètres, seront à basse pression, soit inférieure à 30 bar.

Dans cette analyse économique, il est intéressant de comparer l'impact du prix de l'hydrogène pour des conduites basse pression, en supposant un coût de construction divisé par 4 par rapport aux conduites haute pression.

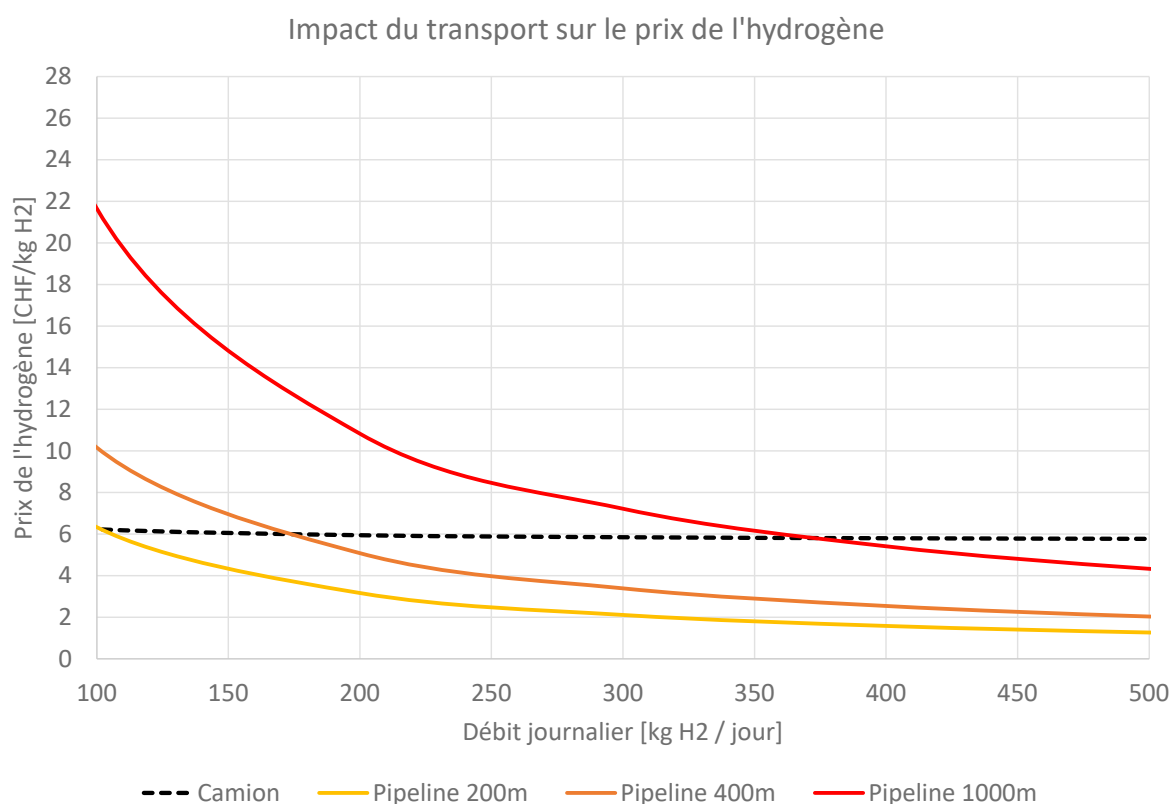


Figure 32 : Modèle utilisé dans la figure 11 et repris ici en supposant le coût de construction d'une conduite de transport d'hydrogène à basse pression.

La Figure 32, en comparaison de la Figure 31, montre clairement que l'intérêt économique de la construction d'une conduite basse pression est encore plus marqué que pour une conduite haute pression. Pour des débits journaliers relativement faibles, il est plus avantageux de construire un pipeline plutôt que de déplacer l'hydrogène avec des camions.

Dans l'annonce du projet, le modèle économique comparait la fourniture d'hydrogène par la conduite avec une fourniture par camion avec des trailers. Par rapport à ce moment-là, le marché de la distribution d'hydrogène ne s'est pas détendu. En effet, il est difficile de trouver, soit de l'hydrogène vert disponible, soit des trailers disponibles. GHP fait le constat de cette situation en recherchant des solutions de secours auprès des fournisseurs de gaz. Le point le plus problématique semble être l'infrastructure nécessaire à la distribution de l'hydrogène, soit la chaîne production, compresseur, trailer, chauffeur de camion, même avec de l'hydrogène gris.

-

3.2 Recommandations

Ce chapitre synthétise les recommandations que GHP ferait, suite à l'expérience d'une planification et d'une construction d'une conduite d'hydrogène haute pression de 90 m, dont 50 m en forage et 40 m en fouille ouverte.



3.2.1 Lot administratif

L'application de la figure 7 du document de la SVGW « H1000 – Recommandation concernant l'étude, la construction et l'exploitation des canalisations d'hydrogène » semble être la meilleure garantie pour ne se disperser dans la procédure.

Par contre, ce document ne donne pas les réponses sur les choix techniques à faire. Il convient de faire une analyse technico-économique propre à chaque projet, afin de définir le type de conduites à construire. Ce sont surtout les critères de la pression et la pureté qui sont déterminants.

3.2.2 Génie-civil

Si des travaux spéciaux de forage sont nécessaires pour l'installation de conduites souterraines d'hydrogène, GHP préconise le choix de spécialistes du domaine, même si le prix est plus élevé. Ils garantiront une réalisation de qualité sans surcoût, à moins de problèmes particuliers.

3.2.3 Construction

Le respect du planning est déterminant afin d'assurer les coûts selon le budget. Pour cela, il est primordial de coordonner tous les métiers ensemble grâce à une présence quasi permanente sur le chantier.

3.2.4 Instrumentation et mesures de sécurité

Les instruments de mesures et de pilotage tels que capteurs, automates, vannes ou encore détecteurs, spécifiquement dédiés à l'hydrogène ou à certaines conditions de pression ne sont pas faciles à trouver sur le marché. Une anticipation de ces commandes et une vérification de l'existence de tous les produits selon les besoins éviteront des tracas sur les délais de réalisation.

Au niveau de la sécurité, il semble que les lois, ordonnances et autres règlements évoluent rapidement, au fur et à mesure que le sujet devient de plus en plus d'actualité dans le marché. La densité des documents de référence aura tendance à augmenter et il serait judicieux de suivre l'état de l'art dans le domaine de la sécurité hydrogène, en particulier à travers les publications de l'OSITC.

3.2.5 Lot économique

En analysant les chiffres qui découlent de la réalisation du projet, il est recommandé de bien se focaliser sur les paramètres tels que la distance de conduite d'hydrogène prévue d'une part et le niveau de pression d'autre part.

Il serait judicieux de déterminer le coût de construction, montage et pose d'une conduite d'acier pour un système à 30 bar. Ce coût se situe probablement à une valeur au moins 10 fois inférieure que le coût pour la conduite haute pression.

On déduit de la Figure 31 que la conduite hydrogène à haute pression est plus avantageuse qu'un transport par la route, car le pipeline construit est de moins de 100 m et le débit journalier prévu à ce jour s'élève à 200 kg d'H₂ par jour au moins.

Pour réduire les coûts de construction, il faut limiter au maximum les tronçons faits avec un forage et privilégier les fouilles ouvertes, plus flexibles par rapport au planning de réalisation et moins coûteuse.



4 Conclusions et résumé

La planification et la réalisation de cette conduite d'hydrogène souterraine à haute pression permettent de conclure les éléments suivants :

En s'appuyant sur la marche à suivre des principales étapes pour la construction d'une conduite souterraine d'hydrogène à haute pression, le travail administratif ne constitue pas un chemin très compliqué. La distinction de l'autorité compétente, entre la Confédération ou le Canton, pour octroyer un permis de construire est relativement claire.

Par contre, l'application de la LITC ou une procédure OPAM n'est encore pas si claire. Pour l'instant, il ne s'agit que des recommandations qui aident à structurer les projets portant sur l'étude, la construction et la mise en service des canalisations d'hydrogène. Il appartient à l'utilisateur de vérifier la validité du cadre légal, des normes et autres règles techniques applicables.

Les enseignements lors de la construction ont montré que l'engagement d'entreprises expérimentées est nécessaire et il est primordial que quelqu'un joue le rôle de coordinateur.

Pour des distances courtes de conduites de transport d'hydrogène (< 200 m), il est judicieux de réaliser des conduites à haute pression, surtout si la mise en place d'un compresseur d'hydrogène au bout du « pipeline » n'est pas adéquate. Il faut cependant que cela serve à une consommation d'au moins 200 kg d'hydrogène par jour. Lors de la construction, si possible, les tronçons en fouille ouverte seront privilégiés.

Du point de vue technique, la construction d'une conduite à haute pression est assez contraignante en raison du nombre de soudures, des contrôles et des tracés qui doivent rester bien rectilignes si possible. Pour ces raisons, il est fortement conseillé de ne pas prévoir un trop long tronçon, sinon le surcoût sera difficilement payable.

Du point de vue économique, les chapitres précédents présentent approximativement les conditions qui rendent l'investissement dans une conduite d'hydrogène haute pression (et encore plus à basse pression) comme quelque chose de rentable.

D'un point de vue pratique, la construction d'une conduite d'hydrogène à haute pression (et de manière encore plus flagrante pour la basse pression) est quelque chose de très avantageux en comparaison d'une fourniture d'hydrogène par camion. Après les quelques premiers jours d'exploitation, il est très facile de conclure que la gestion de toute la chaîne de valeur de l'hydrogène vert, à savoir de la production par électrolyse jusqu'à la fourniture finale chez le consommateur, en passant par un stockage temporaire, est nettement plus efficace grâce à la construction d'une conduite de transport. C'est principalement pour des raisons de logistique que ce fait est avéré. Si la prévision du consommateur d'hydrogène est très fluctuante, la gestion des camions-trailers devient compliqué et peut conduire à des ruptures d'approvisionnement en raison du délai dans la logistique de changement de la remorque-trailer.



5 Aperçu et mise en œuvre prochaine

La construction de la conduite d'hydrogène à haute pression a correspondu à ce qui était planifié dans l'étude d'impact. Aucune autre contrainte particulière n'a été constatée à part ce qui a été relaté pour la réalisation. Du point de vue des autorisations, il n'y a pas eu d'obstacle majeur à l'obtention du permis de construire. Il reste cependant un point sur lequel GHP n'a pas voulu insister et exiger un arbitrage, c'est la possibilité de placer dans le même fourreau en acier le tube de moyenne tension d'électricité et la conduite d'hydrogène. D'un point de vue technique, il serait intéressant de connaître l'avis d'un expert indépendant sur ce cet aspect de la sécurité.

La construction de cette conduite de transport d'hydrogène n'a pas constitué quelque chose de particulier, à part la contrainte des fouilles et des contrôles rayons X chaque soir. GHP reste convaincue que, sous les conditions présentes dans la zone de son projet, la solution d'une conduite d'hydrogène à haute pression constituait le moyen le plus économique et pratique de transférer l'hydrogène d'une côté et de l'autre de la voie de chemin de fer. Ainsi, pour toute extension vers d'autres consommateurs dans la zone industrielle, il semble évident qu'une conduite à basse pression (30 bar) sera privilégiée pour tout tracé supérieur à 300 m.

Pendant l'exploitation, l'expérience doit encore être étoffée. Il est primordial à ce stade de la connaissance de rester attentif aux évolutions dans le domaine de la sécurité et au niveau du cadre légal. Cependant, les premiers jours d'exploitation ont montré que le transport d'hydrogène dans les conduites n'ont posé aucun problème. Si aucun élément extérieur (chantier, travaux spéciaux) ne vient en contact avec la conduite de transport d'hydrogène, on peut affirmer que l'opération sera très avantageuse, car elle ne nécessite aucun travail particulier de maintenance.

-



6 Coopération nationale et internationale

Avec l'émergence de quelques projets de production d'hydrogène vert, dont certains ont planifié la fourniture d'hydrogène au consommateur grâce à une conduite d'hydrogène souterraine, le thème est d'actualité. Le projet de GHP est le seul à s'être réalisé.

Au niveau national, quelques études ont été publiées dernièrement par l'OFEN [7, 8].

Sous la direction de cet Office, un groupe de travail auquel participe la SVGW est en train d'étudier plus précisément cette problématique et développer des solutions appropriées. Il s'agit de s'assurer que la sécurité est garantie à tout moment et que les installations de transport par conduites présentent le moins de risques possible.

Le projet situé à Glovelier et porté par les groupes Planair et Corbat prévoit la construction d'une conduite d'hydrogène de 1.2 km, mais à basse pression (< 5 bar). Le tracé devrait également traverser une voie de chemin de fer. En raison de la pression inférieure à 5 bar, le projet ne serait pas soumis à la LITC. Le projet a peu de point commun avec celui de GHP.

Au niveau international, le sujet des réseaux de conduite d'hydrogène se matérialise principalement par le sujet du European Hydrogen Backbone. Cette vision d'un transport de l'hydrogène à travers 28 pays différents est exposée dans le document « European Hydrogen Backbone, A european hydrogen infrastructure vision covering 28 countries, avril 2022 ». L'idée est de convertir des réseaux existants de gaz naturel et construire de nouveaux réseaux de conduite dédiés à l'hydrogène. La Suisse, géographiquement au cœur de ces échanges, serait traversée par une conduite de transport. Jusqu'à la fin de l'année 2024, c'est le dernier moment pour la Confédération de faire partie de ce projet, sans quoi le tracé de cette conduite de transport passera par l'Autriche. Ce projet offrirait assurément un développement de l'hydrogène en Suisse et serait également une source d'information très importante dans le domaine sécuritaire pour ce type d'infrastructure.



7 Bibliographie

- [1] [Suisse, hydrogène vert et innovations technologiques en 2024 \(helvetia-energy.ch\)](https://helvetia-energy.ch)
- [2] [Bauma 2022: les prototypes de moteurs à hydrogène Liebherr en avant-première | Liebherr](#)
- [3] [Liebherr mise sur l'hydrogène - La Liberté \(laliberte.ch\)](https://laliberte.ch)
- [4] [H1000 f Recommandation sur la planification, la construction et l'exploitation des canalisations pour le transport d'hydrogène | SVGW](#)
- [5] [Aqua & Gas | Plateforme pour l'eau, le gaz et la chaleur | 20230724 L'hydrogène est désormais régi par la législation sur les installations de transport par conduites \(aquaetgas.ch\)](#)
- [6] [The European Hydrogen Backbone \(EHB\) initiative | EHB European Hydrogen Backbone](#)
- [7] Transport de l'hydrogène par conduite, publiée en décembre 2023 et réalisée par le bureau CSD qui analyse la problématique des risques (chap. 4.2)
- [8] H2 SpeTransLeit, publiée en décembre 2023 et réalisée par le bureau Gruner, l'entreprise d'approvisionnement en énergie IWB et l'association SVGW qui pose les bases pour la construction et l'exploitation des canalisations d'hydrogène.