

# HAZOP Report

## Giga Factory H2 Tanks and Boiler circuits

McPhy  
FR-GFH2 Tanks and Boiler circuits

FR-GFH2 Tanks and Boiler circuits-AQB-HAZ-HAZOP Report-A

| Publié par                                  | Révisé par                                       | Approuvé par  |
|---|--|---|
| Vinay KURUP /<br>Functional Safety Engineer | Alexandre SERPOLIER /<br>Industrial Risk Manager | Jean-Charles FAVERGER /<br>Senior Engineering Manager Belfort |
|   |  |   |

| Révision | Commentaires         | Ecrivain | Auditeur | Approbateur | Date       |
|----------|----------------------|----------|----------|-------------|------------|
| A        | Première publication | VKU      | ASE      | JFA         | 24/04/2024 |

| Disclaimer  |
|---|
| Ce document ou dessin est la propriété de McPhy et ne peut, en aucun cas, être totalement ou partiellement, directement ou indirectement, transféré, reproduit, copié, divulgué ou utilisé, sans son accord écrit préalable, à d'autres fins et d'une manière que ce soit autres que celles pour lesquelles il est spécifiquement fourni ou en dehors de l'étendue du droit d'utilisation convenu |



# TABLE DES MATIERES

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Introduction.....   | 4  |
| 2     | Documents de référence.....                               | 4  |
| 3     | Acronymes.....  | 5  |
| 4     | Sommaire Exécutif .....                                   | 5  |
| 5     | Méthodologie HAZOP .....                                  | 6  |
| 5.1   | Matrice des risques.....                                  | 6  |
| 5.1.1 | Critères d'acceptation des risques.....                   | 7  |
| 5.2   | Fréquence .....   | 8  |
| 5.3   | Sévérité .....  | 9  |
| 5.4   | Sauvegarde RRF .....                                      | 9  |
| 5.5   | Principales hypothèses et exclusions.....                 | 10 |
| 5.5.1 | Hypothèses .....  | 10 |
| 5.5.2 | Exclusions.....   | 10 |
| 6     | Portée de l'étude.....                                    | 11 |
| 6.1   | Description du projet.....                                | 11 |
| 6.2   | Décomposition des noeuds .....                            | 11 |
| 7     | Équipe d'examen.....                                      | 11 |
| 8     | Conclusions.....  | 12 |
| 8.1   | Scénarios HAZOP.....                                      | 12 |
| 8.2   | HAZOP Actions .....                                       | 12 |
| 8.3   | Liste des mesures de protection sans SIF .....            | 12 |
| 8.4   | Liste des SIF.....  | 12 |
| 9     | Annexe A – Nœuds.....                                     | 13 |
| 10    | Annexe B – P&ID annoté.....                               | 14 |
| 11    | Annexe C – Feuille de travail HAZOP .....                 | 16 |
| 12    | Annexe D – Liste des mesures de protection sans SIF ..... | 20 |
| 13    | Annexe E – Liste des SIF .....                            | 21 |
| 14    | Annexe F – Liste des Actions.....                         | 22 |



## Liste des Figures

|  |   |
|--|---|
| FIGURE 1 – MATRICE DE SECURITE POUR L'ENVIRONNEMENT ET LES ACTIFS..... | 7 |
| FIGURE 2 – MATRICE DE RISQUE POUR LES PERSONNES .....                  | 7 |
| FIGURE 3 – CATEGORIES DE FREQUENCES.....                               | 8 |

## Liste des Tableaux

|  |    |
|--|----|
| TABLEAU 1 – DOCUMENTS DE REFERENCE .....               | 4  |
| TABLEAU 2 – PARAMETRES ET ECARTS .....                 | 6  |
| TABLEAU 3 – FREQUENCE D'INITIATION DES EVENEMENTS..... | 8  |
| TABLEAU 4 – CATEGORIES DE SEVERITE.....                | 9  |
| TABLEAU 5 – SAUVEGARDE RRF .....                       | 9  |
| TABLEAU 6 – LISTE DES HYPOTHESES .....                 | 10 |
| TABLEAU 7 – LISTE D'EXCLUSIONS .....                   | 11 |
| TABLEAU 8 – ÉQUIPE D'EXAMEN.....                       | 11 |
| TABLEAU 9 – DECOMPOSITION DES NŒUDS.....               | 13 |

# 1 Introduction

Ce document présente le rapport d'étude des dangers et de l'exploitabilité (HAZOP) réalisé pour le projet de chauffage H2 de la McPhy Gigafactory afin de gérer le risque du réseau de tuyauterie à partir d'un (1) réservoir H2 de 20 000 litres, au cours de l'exploitation et de la maintenance.

L'objectif est de procéder à une évaluation des risques de l'installation et d'évaluer les mesures de prévention et d'atténuation du système.

Les études ont été réalisées par une équipe de McPhy Belfort et Grenoble.

Les objectifs de cette HAZOP sont les suivants :

- Identifier les déviations du processus qui peuvent entraîner des risques liés à la sécurité, à l'environnement et aux propriétés
- Évaluer le risque
- Analyser les mesures de prévention et d'atténuation pour chaque scénario de risque
- Évaluer le risque résiduel et proposer, le cas échéant, des améliorations pour atteindre l'ALARP ou les régions acceptables

Le HAZOP a été réalisé sur la base du P&ID disponible au moment de l'HAZOP Annexe B – P&ID annoté

# 2 Documents de référence

| #   | RÉFÉRENCE          | TITRE  |
|-----|--------------------|--|
| [1] | DOC-D-0235         | IEC 61511 – Guideline (McPhy internal guideline)   |
| [2] |                    | CCPS – Layer of protection analysis. Simplified Process Risk Assessment (2001)   |
| [3] | IEC 61511-1 (2016) | Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector – Part 1: Framework, definitions, system, hardware, and application programming requirements |
| [4] | IEC 61511-2 (2016) | Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector – Part 2: Guidelines for the application of IEC 61511-1                                      |
| [5] | IEC 61511-3 (2016) | Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector – Part 3: Guidance for the determination of the required safety integrity levels             |
| [6] |                    | OREDA – Offshore Reliability Data Handbook (2002)  |
| [7] | SCH - PRINCIPE     | Schema De Principe Chaufferie - Rev 6  |

Tableau 1 – Documents de référence



### 3 Acronymes

|        |   |
|--------|---|
| ALARP  | As Low As Reasonably Practicable (en français, Aussi bas que raisonnablement possible)                                    |
| BPCS   | Basic Process Control System (en français, système de contrôle des processus de base)                                     |
| CCPS   | Center for Chemical Process Safety  |
| DCS    | Système à commande distribuée   |
| HAZOP  | HAZard OPerability (en français, risques et exploitabilité)   |
| IEC    | Commission Electrotechnique Internationale  |
| P&ID   | Piping & Instrumentation Diagram (en français, schéma de la tuyauterie et de l'instrumentation)                           |
| Pdes   | Pression de conception  |
| PFDavg | Average Probability of Failure on Demand (en français, probabilité moyenne de défaillance (dangereuse) sur sollicitation) |
| Pop    | Pression de fonctionnement  |
| PSV    | Soupape de sécurité de pression   |
| RRF    | Risk Reduction Factor (en français, Facteur de réduction des risques)   |
| SIF    | Safety Instrumented Function (en français, système instrumenté de sécurité)   |
| SIL    | Safety Integrity Level  |
| SIS    | Safety Instrumented System (en français Système instrumenté de sécurité)  |
| Tdes   | Température de conception   |
| Top    | Température de fonctionnement   |

### 4 Sommaire Exécutif

Un HAZOP a été réalisé pour le projet de chauffage H2 de la Gigafactory de McPhy, incluant le réseau de tuyauterie d'un (1) 20 000 litres de H2 tank. Le HAZOP a permis d'identifier les risques et les mesures de prévention et d'atténuation associées. Une liste d'actions est toujours ouverte. Ces actions doivent être traitées de manière à pouvoir finaliser l'analyse de tous les scénarios et à atteindre un niveau de risque acceptable.

Le nombre de mesures de protection identifiées est le suivant:

- 1 PSV



- 2 Protections mécaniques
- 1 SIF

## 5 Méthodologie HAZOP

L'HAZOP a été réalisé à l'aide de PHA-Pro, conformément à la directive interne de McPhy (Réf. [1]) approuvée par la direction de McPhy.

La méthode commence par identifier les causes et les conséquences potentielles de l'écart de processus sur la base des mots guides énumérés dans Tableau 2 – Paramètres et écarts

Pour chaque scénario identifié, des couches de protection indépendantes (Ref. Tableau 5 – Sauvegarde RRF qui préviennent ou atténuent le danger sont enregistrés. Le risque est ensuite calculé et analysé pour déterminer si une réduction supplémentaire du risque est nécessaire.

Les sections suivantes détaillent la façon dont le risque est évalué.

| Paramètre   | Mot-guide     |
|-------------|---------------|
| Flow        | More          |
|             | No or Less    |
|             | Reverse       |
|             | Misdirected   |
| Temperature | High          |
|             | Low           |
| Pressure    | High          |
|             | Low or vacuum |
| Level       | High          |
|             | Low or no     |
| Composition | Change        |
| Operation   | Startup       |
|             | Maintenance   |
|             | Shutdown      |
| Utilities   | Loss          |

Tableau 2 – Paramètres et écarts

### 5.1 Matrice des risques

La matrice de risque suivante est utilisée. Les trois (3) couleurs correspondent à trois (3) façons de faire face au risque:

- La zone verte où le risque peut être accepté sans autre enquête



- La région jaune représente la zone ALARP où le risque doit être réduit à Aussi bas que raisonnablement possible
- La région rouge indique que tout risque de chute dans cette région est inacceptable et doit être réduit au moins à la région ALARP ou aux régions acceptables

| SEVERITY | CONSEQUENCES        |   | LIKELIHOOD    |          |      |          |          |
|----------|---------------------|---|---------------|----------|------|----------|----------|
|          | Environment         | Assets                                  | 1             | 2        | 3    | 4        | 5        |
|          |                     |   | Very unlikely | Unlikely | Rare | Probable | Frequent |
| 5        | Catastrophic effect | Loss of facility                        |               |          |      |          |          |
| 4        | Major effect        | Loss of unit<br>Long term SD            |               |          |      |          |          |
| 3        | Moderate effect     | Loss of critical eqpt<br>Middle term SD |               |          |      |          |          |
| 2        | Minor effect        | Eqpt damage<br>Short term SD            |               |          |      |          |          |
| 1        | Slight effect       | Minor effect                            |               |          |      |          |          |

Figure 1 – Matrice de sécurité pour l'environnement et les actifs

| SEVERITY | CONSEQUENCES      | LIKELIHOOD    |          |      |          |          |
|----------|-------------------|---------------|----------|------|----------|----------|
|          | People            | 1             | 2        | 3    | 4        | 5        |
|          |                   | Very unlikely | Unlikely | Rare | Probable | Frequent |
| 5        | > 3 fatalities    |               |          |      |          |          |
| 4        | 1 to 3 fatalities |               |          |      |          |          |
| 3        | Major injury      |               |          |      |          |          |
| 2        | Minor injury      |               |          |      |          |          |
| 1        | Slight injury     |               |          |      |          |          |

Figure 2 – Matrice de risque pour les personnes

### 5.1.1 Critères d'acceptation des risques

Le risque est accepté si l'un des critères suivants est applicable :

- Le risque est dans la zone acceptable (vert),



- Le risque est situé en zone ALARP (jaune) et concerne uniquement l'environnement ou les actifs,
- Le risque se situe en zone ALARP (jaune) et concerne les personnes de sévérité S4 ou S5.

## 5.2 Fréquence

La matrice des risques est divisée en cinq (5) catégories de fréquence:

| Likelihood | 1   | 2  | 3  | 4   | 5   |
|------------|---|--|--|---|---|
| Définition | Very unlikely   | Unlikely   | Rare   | Probable  | Frequent  |
| Concevoir  | Risque déjà bien connu, couvert et pleinement pris en compte dans la conception | Risque bien connu et couvert, mais pas encore entièrement pris en compte dans la conception      | Risque non prévu mais possible, non encore pris en compte dans la conception           | Risque possible                                   | Risque attendu  |
| Fréquence  | $F \leq 10^{-5}/\text{an}$  | $10^{-5}/\text{an} < F \leq 10^{-4}/\text{an}$   | $10^{-4}/\text{an} < F \leq 10^{-3}/\text{an}$   | $10^{-3}/\text{an} < F \leq 10^{-2}/\text{an}$    | $F > 10^{-2}/\text{an}$                                   |
| Historique | Jamais entendu parler dans l'industrie  | Cela s'est déjà produit dans l'industrie, mais de nombreuses mesures correctives ont été prises. | Cela s'est déjà produit dans l'industrie, mais des mesures correctives ont été prises. | S'est déjà produit sur une installation similaire | A déjà eu lieu plusieurs fois sur plusieurs installations |

Figure 3 – Catégories de fréquences

Ensuite, la fréquence des événements est évaluée en fonction des fréquences des événements principaux pris en compte au cours de l'HAZOP comme suit:

| Lancement de l'événement   | Fréquence (par an) | Référence |
|--|--------------------|-----------|
| La soupape de sécurité de pression s'ouvre de manière intempestive                 | $10^{-4}$          | [2]       |
| Défaillance de la boucle de l'instrument BPCS                                      | $10^{-1}$          | [2]       |
| Panne de vanne mécanique   | $10^{-2}$          | [2]       |
| Vannes de sectionnement (électrovannes) fermées                                    | $10^{-1}$          | [2]       |
| Filtre bouché sur le tuyau d'hydrogène   | $10^{-2}$          | *         |
| Erreur de l'opérateur lors d'une tâche non routinière suivant une procédure écrite | $10^{-2}$          | [2]       |

Tableau 3 – Fréquence d'initiation des événements

\* L'hydrogène est un gaz propre. Grâce à des procédures d'exploitation et de maintenance (purges), le colmatage des filtres sur le réseau hydrogène est évalué à  $10^{-2}$  par an.



### 5.3 Sévérité

La sévérité est indiquée selon le tableau suivant:

| Sévérité | Conséquences   |  |  |
|----------|--|--|--|
|          | Personnes  | Environnement  | Actifs   |
| 5        | Plusieurs décès à l'intérieur des limites<br>1 décès à l'extérieur des limites   | Effet catastrophique<br>Externe massif, irréversible                             | Perte de l'installation<br>Des dégâts importants<br>Abandonner                 |
| 4        | 1 à 3 décès à l'intérieur des limites<br>Blessures graves à l'intérieur des limites<br>Blessures à l'extérieur des limites | Effet majeur<br>Massif externe, réversible<br>Grand externe, irréversible        | Perte de 1 unité<br>Arrêt à long terme<br>Dommages importants                  |
| 3        | Blessures graves<br>Incapacités irréversibles  | Effet modéré<br>Grand extérieur, réversible<br>Irréversible interne              | Perte d'un équipement<br>Arrêt à moyen terme<br>Dommages localisés             |
| 2        | Blessures<br>Incapacités réversibles   | Effet mineur<br>Débit limité au-dessus de la valeur limite<br>Réversible interne | Dommages internes à l'équipement<br>Arrêt à court terme<br>Entretien important |
| 1        | Légère perturbation  | Léger effet  | Effets mineurs<br>Légers dommages<br>Problème de maintenance                   |

Tableau 4 – Catégories de sévérité

### 5.4 Sauvegarde RRF

Le tableau suivant présente les principales mesures de protection et le facteur de réduction des risques (RRF):

| Sauvegarder                      | RRF  | Référence |
|----------------------------------|------|-----------|
| PSV                              | 100  | [2]       |
| BPCS                             | 10   | [2]       |
| Alarme et réponse de l'opérateur | 10   | [2]       |
| Clapet anti-retour               | 10   | [2]       |
| SIF - SIL 1                      | 10   | [2]       |
| SIF - SIL 2                      | 100  | [2]       |
| SIF - SIL 3                      | 1000 | [2]       |

Tableau 5 – Sauvegarde RRF



## 5.5 Principales hypothèses et exclusions

### 5.5.1 Hypothèses

Pour mener à bien l'HAZOP, les principales hypothèses suivantes sont prises en compte.

| Ref | Hypothèses   |
|-----|--|
| A1  | Les conduites, l'équipement et le matériel sont spécifiés et conçus pour résister aux conditions normales de fonctionnement des contraintes, de la température, de la pression, de l'humidité et d'autres paramètres attendus pendant les opérations de démarrage, d'arrêt, normales, d'essai et de maintenance. Les conditions environnementales du lieu d'exploitation, de l'usine, des lieux d'assemblage, d'essais et de maintenance et pendant le transport entre ces sites sont également couvertes. |
| A2  | Les opérateurs sont formés et connaissent l'installation. La fréquence des erreurs dues à l'opérateur est de 1/100 par an.   |
| A3  | L'entretien, l'inspection, la vérification et les tests sont bien menés dans la période spécifiée et de la manière attendue.   |
| A4  | Lorsqu'une vanne de régulation ou de marche/arrêt est identifiée comme cause du scénario, la défaillance de la boucle de régulation BPCS du capteur à l'actionneur est prise en compte, car le scénario peut être le résultat de la vanne elle-même, du capteur ou de l'automate.  |
| A5  | Les conséquences ont été examinées sans aucune garantie, mais en tenant compte de la conception elle-même  |
| A6  | Les mesures de protection de la catégorie NA sont mentionnées à titre indicatif, mais elles ne sont pas prises en compte pour diminuer le risque (c'est-à-dire qu'elles ne sont pas totalement efficaces ou qu'elles ne sont pas totalement indépendantes du scénario étudié)  |
| A7  | <b>BPCS comme couche de protection</b><br>Il est possible de considérer le BPCS comme une couche de protection si les entrées, les sorties sont indépendantes de la source d'origine de la demande du scénario de risque, à condition que la maintenance du BPCS soit effectuée par du personnel formé et qualifié.  |
| A8  | <b>BPCS en tant qu'événement initiateur:</b> $PFD_{avg} = 10^{-1}$ (Ref. [2]). En effet, la maintenance du BPCS est effectuée uniquement par du personnel/opérateurs formés et qualifiés.<br>Compte tenu de cette considération, le BPCS ne peut pas être considéré comme une mesure de protection dans le scénario.   |
| A9  | On suppose que la fréquence d'ouverture intempestive de la vanne électrique sur les conduites de ventilation d'urgence est de $10^{-2}$ comme une approche conservatrice, comme l'ouverture fallacieuse d'un PSV (la fréquence la plus élevée considérée dans la Réf. [2]).  |
| A10 | Les scénarios d'erreur humaine sur les vannes cadenassées et bouchées ne sont pas pris en compte dans le HAZOP.  |

Tableau 6 – Liste des hypothèses

### 5.5.2 Exclusions

Les événements suivants ne sont pas pris en compte dans le HAZOP. Ils font partie de l'analyse des risques/HAZID/vulnérabilité.

| Ref | Exclusions                                     |
|-----|--|
| E1  | Erreurs intentionnelles, erreurs ou sabotages. |
| E2  | Met en péril simultanément                     |



| Ref | Exclusions  |
|-----|---|
| E3  | Cyberattaques ou logiciels malveillants.  |
| E4  | Fuite du joint ou de la conduite sans cause identifiée  |
| E5  | Les dommages causés par la foudre et le tonnerre, les tremblements de terre, les incendies de proximité, les catastrophes naturelles ou technologiques et tout dommage causé par une source externe |

Tableau 7 – Liste d'exclusions

## 6 Portée de l'étude

### 6.1 Description du projet

Le HAZOP est réalisé pour le projet de chauffage McPhy Gigafactory H2, y compris le réseau de tuyauterie à partir d'un (1) réservoir H2 de 20 000 litres.

### 6.2 Décomposition des noeuds

Pour réaliser la revue, les P&ID du processus ont été regroupés dans différents nœuds.

Annexe A – représente les noeuds étudiés, leurs principaux équipements, leurs paramètres de procédé, et la couleur du noeud utilisé pour baliser le P&ID (Ref. Annexe B – P&ID annoté annoté).

## 7 Équipe d'examen

L'équipe d'examen est composée de personnes de différents départements. Ils sont responsables et compétents dans leur domaine de compétence. Néanmoins, toutes les études de sécurité ont été menées par le département sécurité de McPhy.

| Nom                   | Titre  | Compagnie | Expertise          | E-Mail                          | Présence    |
|-----------------------|--|-----------|--------------------|---------------------------------|-------------|
| Alexandre Serpollier  | Industrial Risks Manager                           | McPhy     | Chairman           | alexandre.serpollier@mcphy.com  | Temps plein |
| Vinay Kurup           | Functional Safety Engineer                         | McPhy     | Scribe             | vinay.kurup@mcphy.com           | Temps plein |
| Jean-charles Faverger | Senior Engineering Manager                         | McPhy     | Project Management | jean-charles.faverger@mcphy.com | Temps plein |
| Christophe Deverre    | Directeur d'Opérations                             | GSE       | Project Management | cDeverre@gsegroup.com           | Temps plein |
| Thierry Müller        | Directeur Utilités                                 | GSE       | Project Management | tmuller@gsegroup.com            | Temps plein |
| Mathieu Ratzmann      | Ingénieur fluides – Responsable du bureau d'études | Stihle    | Project Management | mathieu.ratzmann@stihle.fr      | Temps plein |

Tableau 8 – Équipe d'examen



## 8 Conclusions

### 8.1 Scénarios HAZOP

Les résultats de l'examen HAZOP sont consignés dans les feuilles de travail. Ils présentent tous les scénarios discutés et convenus entre les participants et enregistrés lors de l'examen, y compris les causes, les conséquences, les mesures de protection et le classement des risques.

### 8.2 HAZOP Actions

Au cours de l'examen HAZOP, des actions (Ref. Annexe F – Liste des Actions) ont été proposées et attribuées à la partie concernée pour les raisons suivantes:

- Lorsque le risque n'est pas réduit à un niveau acceptable
- Lorsque les mesures de protection mises en œuvre sont insuffisantes
- Lorsque des informations supplémentaires sont nécessaires pour compléter le scénario

### 8.3 Liste des mesures de protection sans SIF

Toutes les mesures de protection jugées suffisantes pour réduire le risque ont été consignées lors de l'examen HAZOP. Les mesures (Ref. Annexe D – Liste des mesures de protection sans SIF) de protection sont classées comme suit:

- 1 PSV
- 2 Protections mécaniques

### 8.4 Liste des SIF

Tous les SIF jugés suffisants pour réduire le risque ont été consignés lors de l'examen HAZOP. La liste (Ref. Annexe E – Liste des SIF) comprend 1 SIF.



9 Annexe A – Nœuds

| Noeud                   | Couleur du noeud | Intention de conception                         | Drawings / References | Titre du document             | Équipement |                 |                 |   |                  |  |          | Commentaire |
|-------------------------|------------------|---|-----------------------|-------------------------------|------------|-----------------|-----------------|---|------------------|--|----------|-------------|
|                         |                  |   |                       |                               | Tag        | Description     | Pression (barg) |   | Température (°C) |  | Autre    |             |
|                         |                  |   |                       |                               |            |                 | Pop             | Pdes  | Top              | Tdes   |          |             |
| 1. Réseau H2 à 30 Bar   |                  | Stockage et distribution d'hydrogène à 30 bar   | SCH-PRINCIPE          | Schema De Principe Chaufferie | Tank H2    | 20,000L sockage | 30 Bar          | 34 Bar pour la tuyauterie<br>40 Bar pour les clapets et le détendeur<br>50 Bar pour la vanne de sectionnement<br>68 Bar pour le transmetteur de pression  | -17 °C/+50 °C    | -40 °C/+50 °C  | 920Nm3/h |             |
| 2. Réseau H2 à 320 mbar |                  | L'alimentation du chauffage à hydrogène en aval | SCH-PRINCIPE          | Schema De Principe Chaufferie |            |                 | 320 mBar        | 8 Bar pour le PE<br>2 Bar pour le pressostat<br>5 Bar pour la manchette PE/Acier<br>40 Bar pour la section en acier<br>16 Bar pour les électro-vannes et les vannes manuelles DN80<br>4 Bar pour la chaudière | -15 °C/+40 °C    | -15 °C/+40 °C pour le PE<br>-40 °C/+50 °C pour la section en acier | 330Nm3/h |             |

Tableau 9 – Décomposition des nœuds



## 10 Annexe B – P&ID annoté





11 Annexe C – Feuille de travail HAZOP

Nœud : 1. Réseau H2 à 30 barg  
Dessins / Références : SCH-PRINCIPE

Conditions/paramètres de conception :

| Deviations          | Causes   | Consequences  | Initial Risk |   |   |         |        |         |     | Safeguards without SIF |  |    |   |   | Risk without SIF |   |    |   | Safety Instrumented Functions |   |   |  |   | Risk with SIF |      |  |  | Risk Reduct<br>ion<br>Factor<br>Target | Actions |  | Remarks |             |
|---------------------|--|---|--------------|---|---|---------|--------|---------|-----|------------------------|--|----|---|---|------------------|---|----|---|-------------------------------|---|---|--|---|---------------|------|--|--|--|---------|--|---------|-------------|
|                     |  |   | FI           | P<br>e<br>r<br>o<br>n<br>n<br>e<br>m<br>e<br>n<br>t | A<br>s<br>s<br>e<br>s<br>s<br>e<br>m<br>e<br>n<br>t | RR<br>p | R<br>e | RR<br>a | Tag |                        |  |    |   |   |                  |   |    |   |                               |   |   |  |   |               |      |  |  |  |         |  |         | Description |
|                     |  |   |              |   |   |         |        |         |     |                        |  |    |   |   |                  |   |    |   |                               |   |   |  |   |               |      |  |  |  |         |  |         |             |
| 1. More flow        | 1. Capacité de production de l'ELY supérieur à 920Nm3/h  | 1.1.1.1. Augmentation de la vitesse d'écoulement dans les lignes. Sans conséquence sur la section 30 bar entre la cuve et la chaudière, |              |   |   |         |        |         |     |                        |  |    |   |   |                  |   |    |   |                               |   |   |  |   |               |      |  |  |  |         |  |         |             |
| 2. No or less flow  | 1. DN 25 Vanne manuelle laissée fermée. (Erreur de l'opérateur)  | 1.2.1.1. Aucun flux d'hydrogène vers le réchauffeur en aval. Perte de chauffage   | 1.0E-02      |   |   | 1       |        |         |     | 1                      |  |    |   |   |                  |   | NA | 1 |                               |   |   |  |   | 1             |      | 1  |  |  |         |  |         |             |
|                     | 2. Clapet anti-retour bloqué en position fermée  | 1.2.2.1. Aucun flux d'hydrogène vers le réchauffeur en aval. Perte de chauffage   | 1.0E-02      |   |   | 1       |        |         |     | 1                      |  |    |   |   |                  |   | NA | 1 |                               |   |   |  |   | 1             |      | 1  |  |  |         |  |         |             |
|                     | 3. Détendeur partiellement fermé (ouverture insuffisante pour réguler la pression)   | 1.2.3.1. Moins de flux d'hydrogène vers le réchauffeur en aval. Perte de chauffage  | 1.0E-02      |   |   | 1       |        |         |     | 1                      |  |    |   |   |                  |   | NA | 1 |                               |   |   |  |   | 1             |      | 1  |  |  |         |  |         |             |
| 3. Reverse flow     | 1. Pas de cause identifiée   |   |              |   |   |         |        |         |     |                        |  |    |   |   |                  |   |    |   |                               |   |   |  |   |               |      |  |  |  |         |  |         |             |
| 4. Misdirected flow | 1. Ouverture spurious du PSV   | 1.4.1.1. Perte d'hydrogène dans l'atmosphère  | 1.0E-04      |   |   | 1       |        |         |     | 1                      |  |    |   |   |                  |   | NA | 1 |                               |   |   |  |   | 1             |      | 0  |  |  |         |  |         |             |
| 5. High temperature | 1. Température H2 en sortie de l'ELY supérieure à 50° C à cause d'une défaillance de l'échangeur ou du contrôle de l'échangeur | 1.5.1.1. Risque d'endommagement de la cuve.   | 1.0E-01      | 3   |   | 3       | 3      |         | 3   |                        |  | NA | 1 | 3 |                  | 3 |    |   | NA                            | 1 | 3 |  | 3 |               | 1000 | 1. Reduire le risque de température trop importante avec un facteur de 1000 en sortie de l'ELY ou étudier précisément les conséquences d'une température de 70 ° C au niveau de la cuve. |  | McPhy                                  |         |  |         |             |
| 6. Low temperature  | 1. Pas de cause indentifiée  |   |              |   |   |         |        |         |     |                        |  |    |   |   |                  |   |    |   |                               |   |   |  |   |               |      |  |  |  |         |  |         |             |





Nœud : 1. Réseau H2 à 30 barg  
Dessins / Références : SCH-PRINCIPE

Conditions/paramètres de conception :

| Deviations                            | Causes   | Consequences  | Initial Risk |             |            |     |      |     | Safeguards without SIF       |             |     | Risk without SIF |     | Safety Instrumented Functions |     |     | Risk with SIF |     | Risk Reduction Factor Target | Actions |  | Remarks |      |
|---------------------------------------|--|---|--------------|-------------|------------|-----|------|-----|------------------------------|-------------|-----|------------------|-----|-------------------------------|-----|-----|---------------|-----|------------------------------|---------|--|---------|------|
|                                       |  |   | FI           | Environment | Assessment | RRp | RRRe | RRa |                              |             |     |                  |     |                               |     |     |               |     |                              |         |  |         |      |
|                                       |  |   |              |             |            |     |      |     | Tag                          | Description | CAT | RRF              | RRp | RRRe                          | RRa | Tag | Description   | CAT |                              | RRF     | RRp  |         | RRRe |
| 7. High pressure                      | 1. Régulation du banc de test non fonctionnelle  | 1.7.1.1. Endommagement de la cuve et du réseau 30 bar   | 1.0E-01      | 3           | 3          | 3   | 3    |     | Soupape de sécurité à 34 bar | PSV         | 100 | 2                | 2   |                               |     | NA  | 1             | 2   | 2                            | 10      | 2. Etudier la possibilité d'instrumenté en sécurité la mesure de pression en sortie de l'ELY | McPhy   |      |
| 8. Low pressure or vacuum             | 1. Vidange du réservoir et de la tuyauterie provoquant une pression inférieure à la pression atmosphérique | 1.8.1.1. Pas de conséquence pour les températures et pressions en jeu   |              |             |            |     |      |     |                              |             |     |                  |     |                               |     |     |               |     |                              |         |  |         |      |
| 9. High liquid level                  | 1. Pas de cause identifiée   |   |              |             |            |     |      |     |                              |             |     |                  |     |                               |     |     |               |     |                              |         |  |         |      |
| 10. Low or no liquid level            | 1. Pas de cause identifiée   |   |              |             |            |     |      |     |                              |             |     |                  |     |                               |     |     |               |     |                              |         |  |         |      |
| 11. Change in composition             | 1. Mauvaise qualité de l'hydrogène   | 1.11.1.1. Hydrogène de mauvaise qualité envoyé au radiateur. Efficacité inférieure, dommages au chauffage à long terme. | 1.0E-02      |             | 2          |     | 2    |     |                              | NA          | 1   |                  | 2   |                               |     | NA  | 1             |     | 2                            | 10      |  |         |      |
|                                       |  | 1.11.1.2. Accumulation d'eau dans le cuve   | 1.0E-02      |             | 2          |     | 2    |     |                              | NA          | 1   |                  | 2   |                               |     | NA  | 1             |     | 2                            | 10      | 3. Evaluer le besoin d'un drain.   | McPhy   |      |
| 12. Startup, maintenance and shutdown | 1. Référence 1.2.1.1   |   |              |             |            |     |      |     |                              |             |     |                  |     |                               |     |     |               |     |                              |         |  |         |      |
| 13. Loss of utilities                 | 1. Pas de cause identifiée   |   |              |             |            |     |      |     |                              |             |     |                  |     |                               |     |     |               |     |                              |         |  |         |      |
| 14. Other                             | 1. Défaillance de la mesure de pression permettant de commander la chaudière                               | 1.14.1.1. La chaudière ne pourra pas fonctionner sous H2  | 1.0E-01      |             | 1          |     | 2    |     |                              |             |     |                  |     |                               |     |     |               |     |                              |         |  |         |      |



Nœud : 2. Réseau H2 à 320 mbarg

Dessins / Références : SCH-PRINCIPE

Conditions/paramètres de conception :

| Deviations          | Causes  | Consequences   | Initial Risk |                           |                     |      |       |      | Safeguards without SIF |   |            |     | Risk without SIF |     |      |      | Safety Instrumented Functions |  |             |             | Risk with SIF |      |      |   | Risk Reduction Factor Target | Actions |         | Remarks |
|---------------------|---|--|--------------|---------------------------|---------------------|------|-------|------|------------------------|---|------------|-----|------------------|-----|------|------|-------------------------------|--|-------------|-------------|---------------|------|------|---|------------------------------|---------|---------|---------|
|                     |   |  | FI           | E n v i r o n n e m e n t | A s s e s s m e n t | RR p | R R e | RR a |                        |   |            |     |                  |     |      |      |                               |  |             |             |               |      |      |   |                              |         |         |         |
|                     |   |  |              |                           |                     |      |       |      | S p                    | S e   | S a        | Tag | Description      | CAT | RR F | RR p | RR e                          | RR a   | Tag         | Description | CAT           | RR F | RR p | RR e  |                              | RR a    | RRF Max |         |
| 1. More flow        | 1. Pas de cause identifiée  |  |              |                           |                     |      |       |      |                        |   |            |     |                  |     |      |      |                               |  |             |             |               |      |      |   |                              |         |         |         |
| 2. No or less flow  | 1. Vannes manuelles DN80 laissées fermées   | 2.2.1.1. Aucun flux d'hydrogène vers le réchauffeur en aval. Perte de chauffage  | 1.0E-02      |                           |                     | 1    |       |      | 1                      |   | NA         | 1   |                  |     | 1    |      |                               | NA   | 1           |             |               | 1    | 1    |   |                              |         |         |         |
|                     | 2. Vannes de sectionnement (électrovannes) fermées                                      | 2.2.2.1. Aucun flux d'hydrogène vers le réchauffeur en aval. Perte de chauffage  | 1.0E-02      |                           |                     | 1    |       |      | 1                      |   | NA         | 1   |                  |     | 1    |      |                               | NA   | 1           |             |               | 1    | 1    |   |                              |         |         |         |
| 3. Reverse flow     | 1. Pas de cause identifiée  |  |              |                           |                     |      |       |      |                        |   |            |     |                  |     |      |      |                               |  |             |             |               |      |      |   |                              |         |         |         |
| 4. Misdirected flow | 1. Pas de cause identifiée  |  |              |                           |                     |      |       |      |                        |   |            |     |                  |     |      |      |                               |  |             |             |               |      |      |   |                              |         |         |         |
| 5. High temperature | 1. Détente de l'H2 de 30 barg à 320 mbarg créant une augmentation de température de 1°C | 2.5.1.1. Sans conséquence sur les équipements  |              |                           |                     |      |       |      |                        |   |            |     |                  |     |      |      |                               |  |             |             |               |      |      | 4. Fournir la fiche de sélection du fabricant | GSE                          |         |         |         |
| 6. Low temperature  | 1. Température ambiante inférieur à -16°C. Ce phénomène est exceptionnel                | 2.6.1.1. Sans conséquence envisagée à ce stade sur le PE   |              |                           |                     |      |       |      |                        |   |            |     |                  |     |      |      |                               |  |             |             |               |      |      |   |                              |         |         |         |
| 7. High pressure    | 1. Échec d'ouverture de la vanne de régulation de pression                              | 2.7.1.1. Surpression des lignes et équipements en aval du détendeur. L'élément le plus faible en presssion se trouvant dans la chaufferie, il peut y avoir un possible dégagement d'H2 dans cette zone. Cette fuite sera détectable grâce aux capteurs d'H2 fermant les électrovannes en facade. | 1.0E-02      | 4                         | 4                   | 3    |       | 3    |                        | Clapet de sécurité se fermant automatiquement à 450 mbarg | Mechanical | 10  |                  |     |      |      |                               |  |             |             |               |      |      |   |                              |         |         |         |
|                     |   |  |              |                           |                     |      |       |      |                        | Clapet de sécurité se fermant automatiquement à 450 mbarg | Mechanical | 10  | 2                |     | 2    |      |                               | Détection d'H2 et pressostat permettant l'isolement de la chaufferie de la source de surpression | SIS - SIL 1 | 10          | 2             |      | 2    | 1   |                              |         |         |         |
|                     |   | 2.7.1.2. Suite à l'isolation de la chaufferie  |              | 3                         | 3                   | 2    |       | 2    |                        | Clapet de sécurité se fermant                             | Mechanical | 10  | 1                |     | 1    |      |                               | NA   | 1           | 1           |               | 1    | 1    | 5. Vérifier les conditions                    | McPhy                        |         |         |         |

Nœud : 2. Réseau H2 à 320 mbarg  
Dessins / Références : SCH-PRINCIPE

Conditions/paramètres de conception :

| Deviations | Causes | Consequences  | Initial Risk |             |            |     |      |      | Safeguards without SIF |    |  |  | Risk without SIF |  |     |             | Safety Instrumented Functions |      |     |      | Risk with SIF |     |             |     | Risk Reduction Factor Target                     | Actions |      | Remarks |
|------------|--------|---|--------------|-------------|------------|-----|------|------|------------------------|----|--|--|------------------|--|-----|-------------|-------------------------------|------|-----|------|---------------|-----|-------------|-----|--|---------|------|---------|
|            |        |   | FI           | Environment | Assessment | RRp | RR e | RR a |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      | Sp                     | Sa |  |  |                  |  | Tag | Description | CAT                           | RR F | RRp | RR e | RR a          | Tag | Description | CAT | RR F   | RRp     | RR e |         |
|            |        | le surpression sera reportée sur la partie enterrée de la l'alimentation de la chaufferie | 1.0E-02      |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     | d'accèsibilité de la zone à proximité de le cuve |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |
|            |        |   |              |             |            |     |      |      |                        |    |  |  |                  |  |     |             |                               |      |     |      |               |     |             |     |  |         |      |         |



## 12 Annexe D – Liste des mesures de protection sans SIF

| S No | Description de la sauvegarde                              | Catégorie de sauvegarde | Scénario(s) utilisé            |
|------|---|-------------------------|--------------------------------|
| 1    | Clapet de sécurité se fermant automatiquement à 450 mbarg | Mécanique               | Consequences: 2.7.1.1, 2.7.1.2 |
| 2    | Clapet de sécurité se fermant automatiquement à 450 mbarg | Mécanique               | Consequences: 2.7.1.1, 2.7.1.2 |
| 3    | Soupape de sécurité à 34 bar                              | PSV                     | Consequences: 1.7.1.1          |

## 13 Annexe E – Liste des SIF

| S No | Description du SIF   | Catégorie du SIF | Place(s) Used                        |
|------|--|------------------|--------------------------------------|
| 1    | Détection d'H2 et pressostat permettant l'isolement de la chaufferie de la source de surpression | SIS - SIL 1      | Consequence Categories:<br>2.7.1.1.1 |



## 14 Annexe F – Liste des Actions

| S No | Actions  | Scénario(s) utilisé    | Responsabilité |
|------|--|------------------------|----------------|
| 1    | Reduire le risque de température trop importante avec un facteur de 1000 en sortie de l'ELY ou étudier précisément les conséquences d'une température de 70 °C au niveau de la cuve. | Conséquences: 1.5.1.1  | McPhy          |
| 2    | Etudier la possibilité d'instrumenté en sécurité la mesure de pression en sortie de l'ELY  | Conséquences: 1.7.1.1  | McPhy          |
| 3    | Evaluer le besoin d'un drain.  | Conséquences: 1.11.1.2 | McPhy          |
| 4    | Fournir la fiche de sélection du fabricant   | Conséquences: 2.5.1.1  | GSE            |
| 5    | Vérifier les conditions d'accèsibilité de la zone à proximité de le cuve   | Conséquences: 2.7.1.2  | McPhy          |

