RAPPORT FINAL SUR LES RÉSULTATS DU PLAN DE RÉSILIENCE H_2 2023-2032

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION 3

2. PORTÉE ET OBJECTIFS DU PLAN DE RÉSILIENCE 3

3. VUE D'ENSEMBLE DES TRAVAUX RÉALISÉS 4

4. PRINCIPAUX RÉSULTATS 5

5. ATTEINTE DES OBJECTIFS DU PLAN DE RÉSILIENCE 9

6. CONCLUSION 11

ANNEXE 13

1. INTRODUCTION

Dans sa décision D-2023-005 rendue le 18 janvier 2023 dans le dossier R-4189-2022, la Régie de l'énergie (la « Régie ») a autorisé Intragaz s.e.c. (« Intragaz ») à réaliser un plan portant sur la résilience de ses sites d'emmagasinage de Pointe-du-Lac (« PDL ») et de Saint-Flavien (« SFL ») face à l'introduction éventuelle de gaz naturel contenant jusqu'à 10 % d'hydrogène (le « Plan de résilience » ou le « Plan »). La Régie a également demandé à Intragaz de lui faire part des principales conclusions du Plan une fois celui-ci complété (D-2023-005, par. 84 et 85).

Le Plan de résilience s'inscrit dans une démarche préventive visant à permettre à Intragaz de mieux comprendre les impacts potentiels de l'hydrogène sur l'intégrité, la performance et l'exploitation sécuritaire de ses sites. Il faisait suite à une étude de préfaisabilité réalisée en 2021 qui avait identifié plusieurs risques et mesures d'atténuation possibles, mais certaines incertitudes demeuraient et justifiaient la réalisation d'analyses additionnelles.

Le présent rapport constitue la synthèse finale des études, essais et analyses réalisés et présente les principaux résultats obtenus et met en perspective les travaux réalisés au regard des objectifs techniques du Plan. Les conclusions techniques présentées ci-après reprennent celles du rapport technique de synthèse du Plan et des études spécialisées sous-jacentes. Les aspects relatifs aux coûts réels, à la subvention et au cavalier tarifaire sont présentés distinctement à la pièce Intragaz-1, Document 8.4.

Il est rappelé que les sites d'emmagasinage d'Intragaz sont alimentés par le réseau de Gazoduc TQM. Une carte du réseau est présentée en annexe. Une éventuelle réception d'un mélange contenant de l'hydrogène aux sites d'Intragaz demeure donc tributaire de la capacité de ce réseau à transporter un tel mélange et de l'évolution du contexte applicable.

2. PORTÉE ET OBJECTIFS DU PLAN DE RÉSILIENCE

Le Plan de résilience avait pour objectif d'évaluer les impacts potentiels de l'introduction éventuelle de gaz naturel contenant jusqu'à 10 % d'hydrogène dans les réservoirs et installations d'Intragaz, de préciser les conditions de tolérance propres à chacun des sites et d'identifier les adaptations ou mesures d'atténuation qui pourraient être requises. Plus précisément, le Plan visait à :

- établir les conditions de tolérance à l'hydrogène propres à chacun des sites d'emmagasinage;
- valider et préciser les risques identifiés lors de l'étude réalisée en 2021;

- valider les mesures d'atténuation identifiées lors de cette étude et en préciser la pertinence;
- réaliser l'ingénierie préliminaire des mesures d'atténuation retenues et en quantifier les impacts opérationnels et financiers;
- réaliser des essais spécifiques aux sites afin de réduire les incertitudes et de calibrer les modèles;
- documenter les adaptations potentielles des puits et des installations de surface requises pour une exploitation sécuritaire;
- faire état des principales conclusions de l'ensemble de ces travaux.

Le scénario de référence retenu pour les études est un mélange contenant jusqu'à 10 % d'hydrogène. Ce seuil avait été retenu à la suite des échanges avec TQM. Les modèles et connaissances acquises dans le cadre du Plan permettent également d'éclairer l'analyse d'autres concentrations ou d'une évolution graduelle de la teneur en hydrogène, sous réserve des limites propres aux modèles et aux caractéristiques de chacun des sites.

3. VUE D'ENSEMBLE DES TRAVAUX RÉALISÉS

Les travaux ont couvert l'ensemble de la chaîne d'infrastructure des sites d'emmagasinage : le comportement du gaz dans les réservoirs, les interactions microbiologiques et géochimiques, l'intégrité des puits, les performances d'exploitation et la compatibilité des installations de surface.

3.1. CARACTÉRISATION ET MODÉLISATION DES RÉSERVOIRS

Une caractérisation géologique, pétrophysique et hydrodynamique des réservoirs de PDL et SFL a été réalisée ou mise à jour. Les données historiques d'exploitation, de pression, d'injection et de soutirage ont été intégrées afin d'améliorer les modèles et d'appuyer l'évaluation du comportement des sites en présence d'hydrogène.

À SFL, un modèle compositionnel et réactionnel utilisant le logiciel GEM a été construit afin d'évaluer les interactions entre le gaz, l'eau de formation, la roche et les microorganismes. À PDL, un modèle IMEX de type « black-oil » a été retenu afin de tenir compte des caractéristiques propres au réservoir et des contraintes numériques liées notamment à sa faible profondeur, sa forte perméabilité et ses vitesses d'écoulement élevées. Les deux modèles ont été calibrés à partir des historiques de pression, d'injection et de soutirage, puis utilisés pour simuler plusieurs cycles annuels d'exploitation avec ajout d'hydrogène.

3.2. ESSAIS SPÉCIFIQUES ET ANALYSES MICROBIOLOGIQUES

Des essais de traceurs ont été réalisés aux deux sites afin de valider les mécanismes d'écoulement représentés par les modèles et d'en améliorer la calibration. Des campagnes d'échantillonnage microbiologique des eaux produites ont également été réalisées afin de caractériser les communautés microbiennes présentes et de réduire les incertitudes liées à la consommation potentielle d'hydrogène et à la production de H_2S.

3.3. INTÉGRITÉ DES PUITS

Des analyses détaillées ont été réalisées sur les puits SF-13, SF-01 et SF-14 à SFL, et une revue globale a été effectuée pour l'ensemble des 51 puits de PDL. Ces analyses ont porté sur l'intégrité, les matériaux, la complétion, les dispositifs de sécurité et les mesures de surveillance à considérer advenant une exposition future à un mélange contenant de l'hydrogène. Les travaux ont notamment été réalisés à la lumière des bonnes pratiques et normes applicables aux puits, dont EN 1918-2 et ISO 16530.

3.4. INSTALLATIONS DE SURFACE

Une étude de faisabilité portant sur un mélange contenant jusqu'à 10 % d'hydrogène a été réalisée. Les travaux ont couvert les conduites de collecte, les compresseurs, les séparateurs, les équipements de procédé, les systèmes de mesure et de régulation ainsi que les systèmes de sécurité et de contrôle. L'étude a inclus l'établissement d'une base de conception de procédé, des simulations de procédé, l'analyse de la compatibilité des matériaux, la classification des zones dangereuses, les besoins en instrumentation et détection ainsi que le risque associé à la présence de H_2S. Elle a également examiné les effets de la diminution du pouvoir calorifique du mélange sur les conditions d'exploitation et identifié des adaptations possibles.

4. PRINCIPAUX RÉSULTATS

4.1. COMPRÉHENSION DES RÉSERVOIRS ET VALIDITÉ DES MODÈLES

Les travaux ont amélioré la connaissance des deux réservoirs et permis de mieux représenter leur comportement dynamique. À PDL, la caractérisation a notamment permis de mieux définir l'aquifère salin et la variabilité géologique du réservoir. À SFL, les travaux ont mis en évidence le rôle important de la fracturation naturelle et de la connectivité hydraulique pour reproduire le comportement observé du stockage. Les modèles reproduisent les historiques de pression ainsi que les volumes d'injection et de soutirage utilisés pour leur calibration.

Les essais de traceurs ont ensuite fourni une validation par des données de terrain. À SFL, les résultats obtenus aux puits SF-10, SF-03, SF-09 et SF-12 sont cohérents avec les résultats du modèle et ne font apparaître aucune anomalie significative. À PDL, les résultats sont globalement cohérents avec le modèle; les principaux écarts observés ont été associés à la stratégie d'échantillonnage et aux conditions de certains prélèvements.

4.2. RISQUES MICROBIOLOGIQUES, GÉOCHIMIQUES ET QUALITÉ DU GAZ

L'étude de 2021 avait notamment soulevé un risque de consommation d'hydrogène par les micro-organismes et de formation de H_2S. Les campagnes d'échantillonnages microbiologiques, les analyses hydrogéochimiques et la modélisation réactionnelle ont permis de mieux caractériser les mécanismes plausibles et de réduire l'incertitude entourant leur importance à l'échelle des réservoirs. Les analyses génomiques ont notamment confirmé la présence de communautés microbiennes et mis en évidence une évolution temporelle entre les campagnes d'échantillonnage, ce qui constitue un élément à considérer dans l'interprétation des résultats.

À SFL, les travaux finaux conduisent à une appréciation du risque de formation de H_2S plus faible que celle issue de la préfaisabilité de 2021 dans les scénarios jugés les plus représentatifs. Les simulations finales ont intégré les résultats microbiologiques et hydrogéochimiques ainsi que l'effet de mise à l'échelle des cinétiques de réaction sur plusieurs cycles annuels d'injection et de soutirage. Dans les cas jugés les plus probables, la concentration attendue de H_2S demeure inférieure à 0,15 mg/m³; même dans les cas les plus pessimistes analysés, elle demeure inférieure à 1,5 mg/m³. Le risque n'est toutefois pas considéré comme nul et demeure un paramètre à surveiller. À PDL, les risques réactionnels associés à ce mécanisme sont considérés comme moins contraignants.

4.3. PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET EXPLOITATION

L'ajout d'hydrogène réduit le pouvoir calorifique du mélange et entraîne une diminution de la capacité et du débit exprimés en énergie. Les travaux confirment l'ordre de grandeur identifié en préfaisabilité, soit une baisse de capacité énergétique de l'ordre de 7 à 10 % et une baisse de débit énergétique pouvant atteindre environ 12 à 16 % lorsque les compresseurs sont sollicités.

Les simulations d'atténuation montrent qu'une part importante de cette diminution peut être compensée par des ajustements d'exploitation. À SFL, l'application d'un facteur de l'ordre de 1,15 à la chronique de référence permet, dans les simulations réalisées, de compenser la perte de pouvoir calorifique pour la capacité et le débit

énergétiques sans ajout de puits supplémentaires. À PDL, les simulations indiquent également qu'une chronique ajustée du même ordre de grandeur peut être envisagée. Ces résultats demeurent soumis aux contraintes propres à chaque site et aux capacités des équipements de surface.

4.4. MESURES D'ATTÉNUATION

Les mesures identifiées en 2021 ont été réévaluées afin de distinguer celles qui présentent une valeur opérationnelle réelle de celles qui s'avèrent moins pertinentes. L'ajustement des chroniques d'injection et de soutirage constitue une mesure réaliste pour compenser une partie de la perte énergétique. À l'inverse, la création d'un tampon d'azote visant à limiter la formation de H_2S à SFL s'est révélée peu efficace : dans les simulations réalisées, la réduction de la production cumulée de H_2S est de l'ordre de 1,8 %, l'azote étant rapidement reproduit au cours des cycles suivants. Cette mesure n'est donc pas retenue comme mesure privilégiée.

L'injection d'un gaz plus froid afin de réduire l'activité bactérienne a également été examinée. Bien que théoriquement favorable à cet égard, cette option n'a pas été retenue pour des essais détaillés en raison du risque accru de formation d'hydrates au soutirage.

4.5. INTÉGRITÉ ET COMPATIBILITÉ DES PUITS

À SFL, les analyses détaillées des puits SF-13, SF-01 et SF-14 identifient des améliorations requises pour une utilisation soutenue en présence d'hydrogène. Les principaux éléments relevés concernent notamment l'absence de vanne de sécurité de subsurface dans les complétions évaluées, l'absence de fermeture automatique ou pilotable à distance à la tête de puits, la surveillance des annulaires et la connaissance ou la documentation de certains matériaux. Une utilisation ponctuelle pour essai aurait nécessité une analyse de risque spécifique et des mesures compensatoires appropriées.

À PDL, la revue des 51 puits conclut qu'une introduction d'hydrogène ne devrait pas être envisagée sans un programme préalable de remise à niveau, de surveillance et, selon les cas, de maintenance ou d'abandon ciblé de certains puits. Les configurations de complétion et les conditions d'intégrité varient d'un puits à l'autre et plusieurs interventions seraient à préciser avant toute modification de la composition du gaz. Les faibles pressions d'exploitation et les nuances d'acier utilisées constituent des facteurs favorables, mais ne remplacent pas les mesures d'intégrité identifiées.

4.6. INSTALLATIONS DE SURFACE ET RECOMMANDATIONS

Les analyses des installations de surface indiquent que l'introduction d'un mélange de gaz naturel contenant jusqu'à 10 % d'hydrogène modifie certaines propriétés physiques du gaz, notamment sa densité, sa vitesse d'écoulement et son pouvoir calorifique, et peut influencer certaines conditions d'exploitation, en particulier au niveau des équipements de compression et de régulation. Les résultats montrent toutefois que ces effets demeurent compatibles avec les conditions d'exploitation des installations existantes, sous réserve de certaines adaptations. L'étude conclut également que la majorité des matériaux utilisés dans les conduites et les équipements de surface sont compatibles avec les concentrations d'hydrogène envisagées, tout en recommandant des mesures additionnelles de détection, de contrôle, d'arrêt d'urgence et de surveillance de l'intégrité.

Le programme de surveillance proposé comprend notamment des contrôles périodiques de l'épaisseur de paroi et l'inspection des conduites de collecte. L'étude examine également les mesures de gestion et de surveillance qui seraient requises advenant la présence de H_2S dans le gaz.

L'étude recommande notamment que toute introduction future d'hydrogène dans les conduites soit précédée de l'évaluation d'ingénierie requise par la section 17 de la norme CSA Z662, avec des moyens permettant de contrôler la concentration maximale. Pour les équipements de procédé, l'étude examine également les pratiques pertinentes de l'ASME et de la NACE pour encadrer la conception, les matériaux et la surveillance de l'intégrité.

4.7. SORT DU PILOTE D'INJECTION D'HYDROGÈNE ET ADAPTATION DU PROGRAMME

Le programme initial prévoyait un essai pilote d'injection d'hydrogène au puits SF-13. Les conditions entourant les équipements et le personnel n'étaient toutefois pas réunies pour réaliser cet essai de manière sécuritaire, et le principal risque identifié provenait de l'incertitude entourant la complétion du puits. L'essai d'injection d'hydrogène a donc été annulé.

Le programme de travail a été adapté afin de remplacer l'information attendue du pilote par quatre blocs de travail : la quantification de l'effet de mise à l'échelle sur les cinétiques de réaction; la comparaison des fragments d'ADN des bactéries observées aux sites avec les bactéries sulfato-réductrices et méthanogènes documentées dans la littérature; une étude hydrogéochimique des eaux de formation; et des simulations finales utilisant les paramètres jugés les plus

représentatifs. Cette adaptation a permis de poursuivre l'évaluation des risques clés sans procéder à l'injection d'hydrogène sur le terrain.

5. ATTEINTE DES OBJECTIFS DU PLAN DE RÉSILIENCE

La présente section reprend les objectifs techniques et met en perspective les principaux résultats obtenus pour chacun d'eux.

5.1. CONDITIONS DE TOLÉRANCE À L'HYDROGÈNE PROPRES À CHACUN DES SITES

Les travaux ne conduisent pas à un seuil de tolérance pouvant être interprété comme une capacité inconditionnelle d'exploiter les sites avec 10 % d'hydrogène. Ils permettent plutôt de définir un cadre de tolérance conditionnelle. Du point de vue réservoir, les analyses permettent d'étudier un mélange contenant jusqu'à 10 % dans les conditions modélisées. Du point de vue des puits et des installations de surface, cette possibilité demeure conditionnelle à la mise en œuvre préalable des mesures d'intégrité, de sécurité, d'adaptation et de surveillance identifiées par le Plan.

5.2. VALIDATION ET PRÉCISION DES RISQUES IDENTIFIÉS EN 2021

Les principaux risques identifiés en 2021 - migration ou perte d'hydrogène, consommation d'hydrogène, production potentielle de H_2S, perte de performance énergétique, intégrité des puits et compatibilité des installations - ont été examinés au moyen d'études spécifiques. Les travaux ont permis de mieux les quantifier, d'en réduire l'incertitude et, dans certains cas, d'en réviser l'importance à la baisse.

5.3. VALIDATION DES MESURES D'ATTÉNUATION ET APPRÉCIATION DE LEUR PERTINENCE

Le Plan a permis de tester la pertinence de plusieurs mesures d'atténuation. Les ajustements d'exploitation visant à compenser la baisse de performance énergétique se sont révélés pertinents dans les simulations. D'autres mesures, notamment le tampon d'azote étudié pour SFL, ne procurent pas le bénéfice attendu dans la configuration analysée. Les analyses d'intégrité et l'étude ont par ailleurs permis d'identifier les mesures de surveillance, de sécurité et d'adaptation requises au niveau des puits et des installations de surface.

5.4. INGÉNIERIE PRÉLIMINAIRE DES MESURES D'ATTÉNUATION RETENUES ET QUANTIFICATION DES IMPACTS OPÉRATIONNELS ET FINANCIERS

Le Plan a permis de réaliser l'ingénierie préliminaire des mesures d'atténuation retenues et d'en quantifier les principaux impacts opérationnels et financiers. Les simulations ont notamment permis de quantifier les ajustements d'exploitation requis pour compenser la baisse de performance énergétique, incluant un ajustement de

l'ordre de 15 % des chroniques d'injection et de soutirage dans les scénarios étudiés. Pour les installations de surface, l'étude de faisabilité identifie les modifications potentielles, les besoins de surveillance et les équipements pouvant être requis; selon le rapport technique de synthèse, ces modifications représentent un ordre de grandeur de 7,5 à 16,5 M$ CAD, selon les options retenues. Les analyses des puits ont complété cette évaluation en permettant de circonscrire les interventions à considérer avant une exposition durable à l'hydrogène.

À l'échelle des deux sites, le rapport technique de synthèse évalue l'ordre de grandeur global des investissements potentiels à environ 100 M$ CAD, incluant notamment les adaptations des installations de surface, les interventions sur les puits et l'ajout de gaz coussin. Ces estimations demeurent préliminaires et visent à situer l'ampleur potentielle des adaptations qui pourraient être requises.

5.5. ESSAIS SPÉCIFIQUES AUX SITES, RÉDUCTION DES INCERTITUDES ET CALIBRATION DES MODÈLES

Des essais spécifiques aux sites ont été réalisés afin de réduire les incertitudes et de calibrer les modèles. Les essais de traceurs réalisés à PDL et à SFL ont servi à valider les mécanismes d'écoulement et la calibration des modèles réservoir. À SFL, les résultats obtenus aux puits SF-10, SF-03, SF-09 et SF-12 sont cohérents avec les résultats du modèle et ne font apparaître aucune anomalie significative. À PDL, les résultats sont également globalement cohérents avec le modèle, les principaux écarts observés étant associés à la stratégie d'échantillonnage et aux conditions de certains prélèvements. Les campagnes d'échantillonnage microbiologique ont également fourni des données propres aux sites afin de réduire l'incertitude sur les mécanismes réactionnels.

L'essai pilote d'injection d'hydrogène prévu au puits SF-13 n'a pas été réalisé pour les raisons présentées à la section 4.7. Le programme a été adapté afin de remplacer l'information attendue du pilote par des travaux portant sur l'effet de mise à l'échelle des cinétiques de réaction, la comparaison des communautés microbiennes observées aux sites avec celles documentées dans la littérature, l'hydrogéochimie des eaux de formation et des simulations finales utilisant les paramètres jugés les plus représentatifs.

Le scénario à 10 % d'hydrogène constitue le cas de référence du Plan. Les modèles ainsi consolidés fournissent également une base technique permettant d'évaluer la sensibilité des résultats à d'autres concentrations ou à une évolution progressive de la teneur en hydrogène. Cette utilisation doit toutefois demeurer propre à chaque site : à SFL, le modèle compositionnel et réactionnel permet d'analyser la sensibilité des

résultats à la composition du gaz et aux paramètres réactionnels, tandis qu'à PDL, les caractéristiques du réservoir ont conduit à retenir une stratégie de modélisation différente. Toute extrapolation doit donc respecter les limites du modèle utilisé et les conditions propres au site.

5.6. ADAPTATIONS POTENTIELLES DES PUITS ET DES INSTALLATIONS DE SURFACE POUR UNE EXPLOITATION SÉCURITAIRE

Les analyses d'intégrité ont permis de documenter les adaptations potentielles des puits qui devraient être considérées avant une exploitation durable en présence d'hydrogène. À SFL, les principaux éléments concernent la valve de fond de puits, la surveillance et la gestion des annulaires, ainsi que la connaissance et la documentation de certains matériaux. À PDL, la revue des 51 puits met en évidence la nécessité d'un programme préalable de remise à niveau, de surveillance et, selon les cas, de maintenance ou d'abandon ciblé de certains puits avant toute modification de la composition du gaz.

Pour les installations de surface, l'étude identifie les adaptations et mesures de surveillance à considérer notamment pour la compression et la régulation, les systèmes de mesure, le suivi de la teneur en hydrogène, la détection de gaz, la surveillance de l'intégrité des conduites et des appareils sous pression ainsi que la gestion d'un éventuel H_2S à SFL. Les analyses ont été réalisées à la lumière des principales références normatives pertinentes, dont EN 1918-2 et ISO 16530 pour les puits, la section 17 de CSA Z662 pour les conduites transportant des mélanges d'hydrogène, ainsi que des pratiques ASME et NACE pertinentes pour la tuyauterie, les appareils sous pression et les matériaux.

6. CONCLUSION

Le Plan de résilience a permis d'approfondir de manière substantielle la connaissance des effets possibles de l'hydrogène sur les sites de PDL et SFL. Le programme de travail, tel qu'adapté en cours de réalisation, couvre les principales dimensions techniques du Plan : comportement des réservoirs, essais spécifiques, microbiologie et géochimie, performance énergétique, intégrité des puits, compatibilité des installations de surface, mesures d'atténuation et impacts opérationnels et financiers.

Du point de vue des réservoirs, les travaux n'ont pas mis en évidence de facteur bloquant majeur dans le scénario de référence étudié. La possibilité d'une introduction future d'hydrogène demeure toutefois conditionnelle aux adaptations identifiées au niveau des puits, des installations de surface, de la surveillance et des procédures d'exploitation. À

PDL en particulier, une remise à niveau préalable de l'infrastructure des puits serait requise.

Les travaux ont également permis de préciser l'ordre de grandeur des adaptations qui pourraient être requises advenant une introduction d'hydrogène. Les modifications potentielles aux installations de surface sont évaluées, selon les options considérées, dans une fourchette d'environ 7,5 à 16,5 M$ CAD, tandis que l'ordre de grandeur global des investissements potentiels pour l'adaptation des deux sites est estimé à environ 100 M$ CAD, incluant notamment les installations de surface, les interventions sur les puits et l'ajout de gaz coussin. Ces estimations demeurent préliminaires et ne constituent pas une demande d'autorisation d'investissement.

Intragaz entend maintenir les connaissances et les modèles acquis et suivre l'évolution du réseau gazier. Si la présence d'hydrogène dans le gaz transporté par TQM devenait suffisamment probable pour justifier une adaptation des sites, des études et une ingénierie plus avancée pourraient être entreprises afin de préciser les interventions alors requises.

Le présent rapport présente ainsi la synthèse des principaux résultats et conclusions du Plan de résilience.

ANNEXE

Carte représentant le réseau TQM entre les sites d'emmagasinage d'Intragaz

