



# Atelier sur les soudures circonférentielles

Rapport sommaire de la Régie de l'énergie du Canada





Régie de l'énergie  
du Canada

Canada Energy  
Regulator

Cette page est laissée intentionnellement en blanc.



## Table des matières

Résumé.....	1
Glossaire.....	2
Contexte.....	3
Résumés des présentations et recommandations .....	4
Première séance – Aperçu du problème.....	4
Deuxième séance – Analyse des défaillances et incidents .....	5
Troisième séance – Facteurs géotechniques à considérer .....	6
Quatrième séance – Facteurs à considérer et problèmes de conduite – CSA.....	7
Cinquième séance – Problèmes de soudage.....	7
Sixième séance – Problèmes liés à l'installation et à l'assemblage.....	8
Septième séance – Norme B31.8 sur le soudage .....	9
Discussion en petits groupes.....	11
Orientations techniques .....	11
Surveillance des déformations .....	12
Pratiques des sociétés pipelinières et exigences des normes.....	12
Conduites utilisées dans le cadre d'un projet.....	13
Surveillance de la construction .....	14
Groupe de l'industrie et communication des connaissances .....	14
Détermination de la susceptibilité .....	15
Travaux plus poussés.....	17
Prochaines étapes proposées .....	17
Tableau 1 – Recommandations formulées lors des présentations .....	19
Tableau 2 – Recommandations issues des discussions en petits groupes .....	20



## Résumé

En 2019, la Régie de l'énergie du Canada a pris connaissance d'une série de défaillances dans la zone de soudure circonférentielle de tuyaux à haute résistance survenues à l'extérieur du Canada. Bien qu'aucune défaillance de ce genre n'ait été signalée au Canada, la Régie s'est efforcée de prévenir des incidents semblables en sensibilisant l'industrie et en surveillant continuellement les mesures prises par celle-ci. Cela a amené la Régie à délivrer l'avis de sécurité SA 2020-01 ***Défaillances des joints circulaires à la suite de déformations : Considérations liées à la conception, à la construction et à l'exploitation du pipeline.*** Pour traiter cette question, la Régie a tenu un atelier technique le 15 février 2023, afin de cerner les lacunes dans les connaissances de l'industrie sur le problème touchant les soudures circonférentielles et à proposer des mesures pour atténuer les risques futurs au Canada.

Pendant la première moitié de l'atelier, la Régie a invité des spécialistes à parler de différents aspects du problème touchant les soudures circulaires. Aperçu du problème, recherches en cours, incidents survenus dans l'industrie, gestion géotechnique, manques dans la fabrication et le soudage et lacunes de la réglementation au Canada ont figuré parmi les sujets abordés. Les conférenciers ont aussi proposé des recommandations d'amélioration dans chaque domaine.

Pendant la deuxième moitié de l'atelier, la Régie a organisé des discussions en petits groupes sur des questions et des sujets d'intérêt liés au problème. Ces séances ont favorisé un dialogue constructif et un échange d'idées entre les participants. La première série de discussions était axée sur les sujets abordés lors des présentations techniques, tandis que les séances suivantes ont porté sur des suggestions de travaux plus poussés et des recommandations.

**Le présent rapport résume les présentations faites à l'atelier, les mesures recommandées par les participants pour régler le problème touchant les soudures circonférentielles, les mesures qui pourraient être mises en œuvre par la Régie, et les occasions pour la Régie de travailler à des initiatives d'amélioration continue avec des associations industrielles, des associations de normalisation et d'autres organismes de réglementation.**

## Glossaire

ALA	American Lifelines Alliance
ASME	American Society of Mechanical Engineers
Ce	équivalent en carbone
CEPA	Association canadienne de pipelines d'énergie
CSA	Association canadienne de normalisation
LÉMS	limite d'élasticité minimale précisée
NACE	National Association of Corrosion Engineers
NTSB	National Transportation Safety Board (Conseil national de la sécurité des transports)
$P_{cm}$	paramètre métaux critique (paramètre de composition chimique indiquant la trempabilité ou la soudabilité d'un acier)
PHMSA	Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration
PRCI	Pipeline Research Council International
Régie	Régie de l'énergie du Canada



## Contexte

En 2019, la Régie de l'énergie du Canada a appris que plusieurs incidents liés à des défaillances dans la zone de soudure circonférentielle (zone de métal déposé et zone thermiquement affectée) de tuyaux à haute résistance étaient survenus à l'extérieur du Canada. En 2015, notamment, une défaillance s'est produite dans la zone de soudure d'une conduite d'un diamètre nominal de 508 mm (NPS 20) moins de deux ans après sa mise en service. Une autre défaillance du genre est survenue en 2014 puis de nouveau en 2018 sur un gazoduc terrestre NPS 36 qui avait été construit en 2013.

Bien qu'aucun incident lié à ce type de défaillance n'ait été signalé au Canada, la Régie estime que des incidents semblables pourraient survenir dans des conditions comparables.

Afin d'accroître la sensibilisation aux défaillances causées par une déformation dans la zone de soudure circonférentielle, la Régie a délivré l'[avis de sécurité SA 2020-01](#) à toutes les sociétés réglementées. Des avis de sécurité sont publiés périodiquement pour informer le secteur pétrolier et gazier de préoccupations connues en matière de sécurité ou d'environnement, et prévenir les incidents s'y rapportant. Depuis la délivrance de l'avis de sécurité SA 2020-01, la Régie a continué de surveiller les mesures prises par l'industrie à ce sujet, y compris les discussions avec les sociétés réglementées et les organismes de recherche internationaux.

Dans le contexte de son engagement à surveiller les progrès de l'industrie relativement à cet enjeu, la Régie a organisé un atelier technique sur les soudures circulaires dont le métal a des propriétés inférieures et une faible résistance le 15 février 2023. L'atelier s'est tenu en personne afin de permettre aux parties prenantes de faire ce qui suit :

- examiner des incidents résultant de défaillances induites par déformation survenus à l'échelle internationale et analyser leurs causes et leurs facteurs contributifs;
- faire le point sur l'état actuel de la recherche et des connaissances en la matière;
- examiner les progrès qui ont été réalisés à l'échelle internationale et dans le contexte canadien afin de prévenir et d'atténuer les incidents au pays;
- voir s'il existe toujours des lacunes et les moyens pour y remédier.

L'objectif de l'atelier était de permettre aux membres de l'industrie de discuter de ce problème et de relever les mesures qu'il est possible de prendre pour prévenir ces défaillances au Canada.

## Résumés des présentations et recommandations

Plusieurs présentations sur différents sujets liés aux défaillances causées par une déformation dans la zone de soudure circonférentielle ont eu lieu dans le cadre de l'atelier sur les soudures circonférentielles. On peut consulter les documents de ces présentations (en anglais) à partir du site Dialogue Régie ([www.cerdialogue.ca/girth-weld-workshop](http://www.cerdialogue.ca/girth-weld-workshop)). Les présentateurs ont donné un aperçu général du problème et parlé des facteurs géotechniques, ainsi que de soudage et de raccords. Les principaux points abordés et recommandations formulées lors des présentations sont résumés ci-après.

### Première séance – Aperçu du problème

**Présentateur : Yong-Yi Wang, Ph.D., CRES**

**Sujet de discussion : État actuel de la recherche et des connaissances sur le problème; étendue du problème**

Cette présentation a porté sur la non-concordance entre les propriétés du métal de soudure et celles de la conduite, l'évaluation des risques et les améliorations recommandées en matière de conception et de construction de pipeline. L'un des principaux points soulevés était la nécessité d'effectuer un examen préalable initial pour déterminer si une évaluation technique plus poussée est requise. M. Wang a souligné qu'une estimation appropriée de la non-concordance entre les propriétés du métal de soudure et celles de la conduite et du degré de ramollissement de la zone thermiquement affectée est nécessaire pour évaluer les risques avec précision.

Il a indiqué qu'une résistance aux contraintes axiales de 90 % de la limite d'élasticité minimale spécifiée (« LÉMS ») est insuffisante dans les conditions réelles de service sur le terrain. Il a soutenu que la conception axée sur les contraintes à 90 % de la LÉMS des conduites enfouies est insuffisante, sauf dans des conditions idéales, car un tassement normal du sol après la construction et les contraintes de construction exerceraient probablement des contraintes supérieures à 90 % de la LÉMS à certains endroits, qui pourraient ne pas être décelables au préalable. Par conséquent, une capacité de déformation intrinsèque suffisante est nécessaire pour tenir compte des niveaux probables de contraintes axiales dans un pipeline.

De plus, M. Wang a suggéré d'employer un écart de 0,5 % ou une déformation totale de 0,75 % comme valeur de déformation pour définir la limite d'élasticité. Cela peut réduire la dispersion dans les limites d'élasticité déclarées, ce qui est avantageux pour une représentation exacte des propriétés de traction d'une conduite. Il a aussi recommandé d'établir une limite supérieure raisonnable pour le rapport entre la limite d'élasticité et la résistance à la traction.

M. Wang a recommandé deux options pour la validation des soudures circulaires. Selon la première option, aucune défaillance dans la zone de soudure (zone fondue et zone thermiquement affectée) n'est permise. Dans la seconde option, une défaillance dans la zone de soudure est permise sous réserve d'exigences de rendement supplémentaires. L'une et l'autre l'option exigent le choix de conduites appropriées pour les soudures de validation. Le recours à un embout soudé de grande dimension et, éventuellement, à une approche fondée sur le risque, qui pourrait être liée aux caractéristiques techniques, a figuré parmi les autres points soulevés pendant la présentation.



Dans l'ensemble, M. Wang a fait ressortir l'importance d'adopter une approche globale pour cerner et gérer les risques associés à toutes les étapes de la vie utile d'un pipeline, dont sa conception, les caractéristiques techniques des matériaux qui le composent et sa construction, afin d'en assurer la sécurité et la fiabilité.

---

## **Deuxième séance – Analyse des défaillances et incidents**

**Présentateur : Dave Warman, CRES**

**Sujet de discussion : Exemple d'incident dans l'industrie**

Dans le cadre de sa présentation, Dave Warman a donné un aperçu de différents aspects liés aux incidents et à la capacité de déformation des pipelines. Dans un premier temps, il a précisé que la faible capacité de déformation se définit comme l'incapacité d'un pipeline à résister à des niveaux élevés de déformation sans défaillance et que le terme « faible capacité de déformation des zones de soudure circonférentielle » désigne le faible niveau de déformation nominale mesurée dans un tronçon précis d'un pipeline à distance de la zone de soudure. Il a ensuite mis en évidence l'importance de la capacité de déformation d'un pipeline au moyen d'exemples de défaillance circonférentielle.

Pendant la présentation, M. Warman a parlé d'un incident particulier survenu en 2015 sur un pipeline qui n'était en service que depuis une année et demie. Le calcul de la déformation globale et de la déformation transversale n'a révélé aucun défaut dans la soudure. Il a présenté des exemples de niveaux de contraintes en service supérieurs à 90 % de la limite d'élasticité minimale spécifiée et des contraintes de flexion et axiales calculées inférieures à 0,5 % dans la soudure circonférentielle.

Le présentateur a aussi parlé de la déformation maximale de 2 % permise par l'ASME et de la différence de tassement entre une déformation permise de 0,5 % et une déformation de 1,2 %. Il a été noté que la conduite se serait déformée par compression due à la charge attribuable à la flexion. On a mentionné que les matériaux utilisés dans la fabrication des conduites avaient évolué, mais que les procédés de soudage, eux, étaient demeurés les mêmes au fil du temps. On a présenté l'exemple d'une conduite datant des années 1980 à 2005 présentant un défaut important, qui indiquait une capacité de déformation en traction de 0,43 %, et fait remarquer que la capacité de déformation d'une conduite moderne exempte de défaut serait la même en raison d'une soudure aux propriétés inférieures et du ramollissement de la zone thermiquement affectée. M. Warman a aussi précisé que le rapport sur les essais des matériaux ne faisait aucune mention des propriétés longitudinales.

Il a aussi décrit en détail les causes et les conséquences d'une défaillance d'une soudure circonférentielle et a passé en revue les leçons tirées d'incidents passés et les répercussions sur la conception et l'exploitation des pipelines. L'unité de mesure inertielle de la déformation due à la flexion a été mentionnée comme outil possible pour surveiller et évaluer les taux de déformation dans les pipelines. Enfin, M. Warman a fourni un classement qualitatif des matériaux de pipeline en fonction de leur capacité de déformation, soulignant l'importance de choisir des matériaux dotés d'une capacité de déformation suffisante pour assurer l'exploitation sûre et fiable du pipeline.

---



### **Troisième séance – Facteurs géotechniques à considérer**

**Présentateur : Jim Oswell, Ph.D., P.Eng., NAVIQ**

**Sujet de discussion : Gestion des déformations géotechniques**

Jim Oswell a présenté son point de vue personnel sur des améliorations récentes dans le domaine de l'interaction pipeline-sol et s'est attaché à ce sujet plutôt qu'aux problèmes ou contraintes purement géotechniques. Il a fait la critique des lignes directrices de l'American Lifelines Alliance (« ALA ») en soulignant leurs limites en ce qui a trait aux fondrières (tourbières) et les composantes combinées de friction et de frottement superficiel. La présentation a fait ressortir les limites particulières suivantes des lignes directrices de l'ALA :

- Elles ne concernent que les sols minéraux (elles ne tiennent pas compte des fondrières).
- Elles présument que l'interaction pipeline-sol présente à la fois des composantes de friction (avec drainage) et de frottement superficiel (déformation totale sans drainage).

Le présentateur a aussi mentionné que le modèle sans drainage pour la résistance et la rigidité du sol semblait fournir une représentation plus juste du rendement réel du pipeline. Cependant, il a été noté que les ingénieurs géotechniques, en s'appuyant sur le comportement des pieux, ont tendance à attribuer de faibles valeurs à la rigidité et à la résistance à la rupture, ce qui donne à penser que le modèle sans drainage n'est pas nécessairement plus précis. La résistance variable de la tourbe aux charges verticales et horizontales a été illustrée et observée selon différents angles de frottement.

De plus, M. Oswell a souligné que les logiciels d'analyse des contraintes sur les conduites, tels que CAESAR II, ne sont pas dotés d'une option par défaut pour les fondrières, ce qui fait que les utilisateurs choisissent l'argile plastique comme valeur la plus semblable. Cette approximation fait en sorte que l'élasticité du sol est beaucoup plus importante que dans le cas des fondrières, ce qui pourrait avoir une incidence sur l'exactitude de l'analyse.

---

**Présentateur : Doug Dewar, M.Sc., ing., Pembina**

**Sujet de discussion : Gestion des déformations géotechniques**

Doug Dewar a fait un survol des glissements de terrain en s'intéressant plus particulièrement aux caractéristiques uniques du bassin sédimentaire de l'Ouest canadien par comparaison avec d'autres régions de l'Amérique du Nord. Il a insisté sur l'importance des mesures d'atténuation et de la surveillance du sol et des conduites pour prévenir les glissements de terrain. M. Dewar a parlé de différents types de défaillances liées à des glissements de terrain en soulignant la nécessité d'une détection précoce au moyen de systèmes de surveillance. Il a également abordé l'utilisation d'une unité de mesure inertielle comme outil pour surveiller les contraintes axiales dans les pipelines.

Dans les exemples présentés, la plupart des défaillances observées sont survenues au pied d'une pente en raison du flambage de la conduite ordinaire. Les connaissances sur la charge de traction accusent un retard par rapport à celles sur la charge de compression. La stratégie recommandée quant au choix des tracés consiste à les situer dans des zones de glissement à mouvement lent, généralement d'une vitesse de 0 à 25 mm/année. On a également présenté des arguments convaincants en faveur de l'évitement des glissements de terrain au lieu de l'adaptation à ceux-ci.

La rupture sous tension a été décrite comme une « mort subite » et jugée difficile à prévoir au moyen d'une inspection interne. Le potentiel de déformation axiale doit être déduit à partir de données topographiques et pourrait être confirmé au moyen d'un extensomètre ou de découpes. On prévoit que les outils dans le domaine de la déformation axiale continueront d'évoluer, ce qui permettra de comparer les résultats d'une inspection interne à l'autre.

M. Dewar a conclu sa présentation en parlant de l'avenir de la surveillance et de la prévention des glissements de terrain en insistant sur l'importance de mettre au point des systèmes de surveillance perfectionnés pour améliorer la sécurité et prévenir les dommages causés par les glissements de terrain.

---

#### **Quatrième séance – Facteurs à considérer et problèmes de conduite – CSA**

**Présentateur : Alex Afaganis, EVRAZ**

**Sujet de discussion : Lacunes dans les procédés de fabrication**

Alex Afaganis s'est intéressé à divers facteurs qui influent sur la capacité de déformation de la zone de soudure circonférentielle dans la conception d'un pipeline, en particulier la résistance longitudinale de la conduite et le ramollissement de la zone affectée par la chaleur. Il a fait remarquer que l'information disponible sur la résistance longitudinale des conduites de grand diamètre est limitée. Pour palier ce manque, des améliorations aux méthodes d'essai et la possibilité de rendre des essais obligatoires sont étudiées. En outre, des lignes directrices sur les facteurs à prendre en considération dans la conception du soudage et l'ajout d'exigences relatives aux soudures d'assemblage dans les descriptions des méthodes de soudage sont envisagés.

Afin de mieux comprendre la réaction de l'acier aux procédés de soudage et d'établir des corrélations entre la composition chimique et la susceptibilité au ramollissement, un processus d'évaluation est en cours d'élaboration. Celui-ci contribuerait à améliorer les connaissances sur le comportement précis de l'acier pendant le soudage.

En outre, il a été souligné que l'écrasement des échantillons pour les essais de traction avait une incidence importante sur la définition de l'élasticité. On a reconnu les limites du paramètre critique  $P_{cm}$  pour détecter le ramollissement de la zone affectée par la chaleur, aucune corrélation établie en ce sens n'était disponible. L'apport de chaleur est un facteur qui influence de façon importante le ramollissement de la zone affectée par la chaleur.

M. Afaganis a soulevé d'autres points importants, notamment une mise en garde contre la réduction excessive de la teneur en éléments d'alliage (plus précisément les alliages 4, 5 et 7), la nécessité d'établir des limites de traction longitudinale et la considération d'un supplément à la norme CSA Z245.1 pour les soudures d'assemblage. En outre, il a été suggéré qu'en cas de sous-estimation des échantillons de bande plate, d'autres options, comme les essais d'expansion d'anneau ou à barres rondes, devraient être envisagées.

---

#### **Cinquième séance – Problèmes de soudage**

**Présentateur : Bill Bruce et Kenneth Lee, DNV**

## **Sujet de discussion : Lacunes dans le soudage et produits consommables**

Selon Kenneth Lee, il est de pratique courante de réaliser manuellement des soudures circonférentielles au moyen d'électrodes à enrobage cellulosique, mais il reconnaît les problèmes possibles qui y sont associés, comme la fissuration due à l'hydrogène. Il a abordé la question de la résistance de soudure et fait ressortir la difficulté de déterminer ce facteur avec précision et l'importance de choisir soigneusement les méthodes de soudage et les produits consommables connexes.

M. Lee a suggéré différentes options pour les soudures circulaires, dont des solutions de rechange pour une plus grande résistance des passes de fond et de remplissage. Il a fait remarquer que dans le cas des soudures manuelles à l'arc avec électrode à enrobage cellulosique, la défaillance se produit habituellement à distance de la zone affectée par la chaleur et de la soudure sur la conduite. Quant au soudage de conduites fabriquées selon un processus de contrôle thermomécanique, il est difficile de réaliser des soudures plus solides que le tube lui-même. Pour prévenir la fissuration, l'utilisation d'une électrode E8010 est recommandée comme la meilleure option. L'importance de passer d'une soudure à la racine au moyen d'une électrode E6010 à une soudure à l'arc à l'hydrogène ou sous gaz avec fil plein, ou à la racine au moyen d'une électrode E8010, est également soulignée.

M. Lee a parlé de la nécessité d'utiliser des électrodes à basse teneur d'hydrogène, ainsi que du recours à des échantillons ronds pour mesurer la résistance à la traction dans les tubes à paroi mince, qui peuvent ne pas être représentatifs de la soudure globale. La classification des conduites en fonction de la limite d'élasticité minimale spécifiée et des électrodes de soudage en fonction de la résistance à la traction ajoute à la complexité de faire correspondre les résistances. Une étude menée auprès de 22 soudeurs a révélé qu'ils étaient tout aussi à l'aise d'utiliser l'une ou l'autre des électrodes E8010 et E6010 pour les soudures à la racine et que celles-ci répondaient aux exigences de l'industrie en matière d'essais de résistance à la chaleur.

On a souligné l'importance d'utiliser des tubes à faible alliage pour accroître la résistance à la fissuration et d'envisager d'autres solutions de soudage avec fil fourré, sous protection gazeuse ou autoprotégé. Lorsqu'une soudure manque de solidité, ce facteur l'emporte sur tous les autres. La nécessité de délaisser les électrodes à enrobage cellulosique et le recours de plus en plus fréquent au soudage mécanisé au Canada ont été mentionnés comme des tendances dans l'industrie.

En conclusion, M. Lee a insisté sur l'importance de veiller à la solidité et à la fiabilité des soudures circonférentielles dans la conception et l'exploitation d'un pipeline. L'utilisation d'une électrode E8010 est recommandée dans le cadre d'une solution efficace lorsqu'un métal de soudure aux propriétés inférieures est employé.

---

## **Sixième séance – Problèmes liés à l'installation et à l'assemblage**

**Présentateur : Eric Willett, M.Sc., ing., TC Énergie**

**Sujet de discussion : État actuel de l'installation et du soudage au Canada**

La présentation d'Eric Willett a porté sur les changements à venir aux exigences de la norme CSA Z662:23 relatives au soudage de pipelines, en particulier en ce qui concerne les

conduites de nuance supérieure à 386 MPa (supérieure à X56). M. Willet a souligné l'inclusion de nouvelles notes d'information et de nouveaux commentaires dans ces exigences actualisées. Des stratégies pour éviter la défaillance imprévue d'une soudure circonférentielle attribuable à une déformation localisée ont fait l'objet de discussions, notamment la prise en compte de la résistance réelle d'une conduite au moment de concevoir et de valider une méthode de soudage ou de réutiliser une méthode déjà validée. L'utilisation de procédés de soudage à faible apport de chaleur et de matériaux de remplissage à faible teneur en hydrogène plus résistants a été recommandée. De plus, M. Willet a insisté sur l'importance de mettre en œuvre des essais supplémentaires de validation des méthodes de soudage pour mieux comprendre les propriétés de la zone de soudage.

L'importance de surveiller et de contrôler le soudage industriel et de mettre en œuvre des pratiques de construction appropriées a également été soulignée. M. Willet a fait ressortir la nécessité d'examiner attentivement les méthodes et pratiques de soudage pour assurer la solidité et la fiabilité des soudures circonférentielles de pipeline.

M. Willet a présenté son point de vue sur l'état actuel de l'installation et du soudage au Canada ainsi que certains points d'intérêt comme les essais avec surépaisseur de soudure intacte et l'absence de norme quant aux essais de traction sur les soudures transversales. La question des défaillances dans la zone affectée par la chaleur a été abordée, en particulier l'importance de respecter la résistance à la traction minimale du matériau de la conduite et de s'assurer qu'elle n'est pas inférieure à la contrainte d'écoulement (moyenne de la résistance à la traction et de la limite d'élasticité).

M. Willet a indiqué qu'il serait nécessaire d'effectuer des essais de résistance sur les conduites achetées et de tenir compte des différentes limites d'élasticité dans les métaux d'apport soi-disant identiques. Pour évaluer le risque de non-concordance entre les propriétés du métal de soudure et celles de la conduite, il a recommandé de déterminer d'abord les résistances à la flexion, car il se peut que les résistances longitudinales ne soient pas connues. Si une défaillance survient lors d'un essai de traction sur une soudure transversale, il est recommandé de procéder à une vérification au moyen d'une photo pour confirmer que la défaillance s'est produite à l'extérieur de la zone thermiquement affectée.

M. Willet a conclu en soulignant l'importance de resserrer les exigences techniques de construction, éventuellement en ce qui concerne le compactage.

---

## **Septième séance – Norme B31.8 sur le soudage**

**Présentateur : Mike Rosenfeld, P.Eng., RSI Pipeline Solutions**

**Sujet de discussion : Lacunes dans la réglementation et les normes**

Mike Rosenfeld a traité d'enjeux comme la fissuration due à l'hydrogène, le ramollissement de la zone affectée par la chaleur et l'utilisation d'un métal de soudure aux propriétés inférieures, qui peuvent se répercuter sur la qualité et la fiabilité des soudures de pipeline. M. Rosenfeld a aussi donné un aperçu de la réglementation et des normes en vigueur aux États-Unis qui visent à répondre à ces préoccupations, ainsi que de la révision prévue de la norme B31.8 de l'ASME, qui énonce les exigences relatives aux gazoducs de transport et de distribution.

Il a souligné que l'acheteur peut demander des essais longitudinaux et qu'une soudure extérieure à 95 % de la limite d'élasticité minimale spécifiée est acceptable, bien que le contexte précis de cette affirmation n'est pas clair. Le présentateur a mis l'accent sur la nécessité de tenir compte du mode actuel de fabrication des conduites, en faisant allusion aux difficultés associées à l'utilisation de conduites fabriquées selon un processus de contrôle thermomécanique.

Il a été question de plusieurs articles de la norme B31.8 de l'ASME pendant la présentation. L'article 828.1 traite des risques de fissuration attribuable à l'hydrogène et recommande de prendre les mesures appropriées en cas de présence possible ou réelle d'une telle fissuration. La nature tardive des fissurations dues à l'hydrogène a été mentionnée et l'importance de mener des inspections dans les 12 à 24 heures pour une meilleure détection a été soulignée. L'article 828.2 de la norme traite du ramollissement de la zone thermiquement affectée et précise que ce problème ne concerne généralement pas la charge exercée par la pression interne, mais qu'il faut prendre des mesures de précaution en présence de contraintes longitudinales élevées. L'article 828.3 concerne les soudures aux propriétés inférieures et met l'accent sur la nécessité de prendre des mesures à cet égard et renvoie aux lignes directrices énoncées dans la norme BPVC IX de l'ASME.

M. Rosenfeld a également mentionné qu'il n'était pas rare que les contraintes de flexion soient relativement élevées dans la construction d'un pipeline, d'où l'importance de tenir compte de ces contraintes dans les étapes de la conception et de la construction.

En conclusion, M. Rosenfeld a insisté sur l'importance de régler les préoccupations liées au soudage pour assurer la sécurité et la fiabilité de la construction des pipelines aux États-Unis. Il a souligné la nécessité de se conformer aux règlements et normes pertinents, y compris la norme B31.8 de l'ASME qui sera révisée prochainement, et l'importance des mesures proactives pour atténuer les difficultés liées au soudage et assurer l'intégrité des soudures de pipeline.

## Discussion en petits groupes

En plus des présentations, la Régie a organisé des séances en petits groupes pour permettre aux participants de discuter de questions et de sujets liés au problème des joints circulaires aux propriétés inférieures. Ces séances ont donné l'occasion aux participants de prendre part à un dialogue constructif et d'échanger des idées en vue de trouver des solutions efficaces à ce problème.

Les discussions étaient dirigées par des personnes de la Régie, qui ont également pris des notes. En animant ces discussions et en posant des questions clés, la Régie a été en mesure de tirer parti de l'expertise des participants à l'atelier et de promouvoir la collaboration. Les animateurs avaient préparé une série de questions qu'ils pouvaient utiliser pour lancer ou relancer la discussion. On leur a toutefois donné la consigne de laisser libre cours aux conversations sur les sujets abordés dans les présentations des spécialistes et le problème général des défaillances causées par une déformation dans la zone de soudure circonférentielle.

Lors des premières séances en petits groupes, les participants devaient s'en tenir aux sujets abordés dans les présentations techniques. Lors des séances suivantes, on leur a demandé de se concentrer sur les suggestions de travaux plus poussés et les recommandations visant à corriger le problème touchant la soudure circonférentielle.

Les grands thèmes suivants sont ressortis des discussions :

- Orientations techniques
- Surveillance des déformations
- Société pipelinière excédant les normes
- Conduites utilisées dans le cadre d'un projet
- Surveillance de la construction
- Groupe de l'industrie et communication des connaissances
- Détermination de la susceptibilité
- Travaux plus poussés

**Les sections qui suivent présentent en détail les sujets qui ont fait l'objet de discussions dans chacun des petits groupes, classés par grands thèmes. Veuillez noter qu'il s'agit de comptes rendus des discussions des participants à l'atelier et qu'ils ne reflètent pas le point de vue et la position de la Régie sur les sujets abordés.**

### Orientations techniques

Les participants ont discuté de la nécessité d'obtenir des directives techniques ou sur la conception du soudage relativement au problème en question et ont proposé que la Régie envisage de produire des directives qui traitent de ses attentes à l'égard des sociétés réglementées en ce qui a trait à la conformité et à l'atténuation du problème. En outre, ils ont suggéré d'organiser plus d'ateliers de la CSA et de se concentrer sur les conduites soumises à des contraintes élevées plutôt que sur la tuyauterie des installations.

De plus, ils ont proposé que les commentaires de la CSA soient étendus afin d'aider à la gestion du problème tout au long de son cycle de vie et indiqué que des directives sur la conception du soudage seraient utiles. On a aussi avancé qu'il fallait agir pour combler le fossé entre ceux qui

travaillent sur le terrain et ceux qui travaillent au bureau ou à la conception du projet. Les participants ont fait remarquer que bien que le Pipeline Research Council International ait fait beaucoup dans ce domaine, il faut payer pour en être membre.

### **Surveillance des déformations**

Dans le domaine de la surveillance des déformations, on a indiqué que plusieurs sociétés surveillent activement les déformations au moyen d'inspections internes, qui sont axées sur l'analyse des contraintes de flexion. Une société a élaboré un programme spécialisé pour les essais de traction. Ce programme lui permet d'évaluer la résistance à la traction des nouveaux actifs pendant la construction. Au départ, le personnel procède à des évaluations initiales des menaces pour ces actifs, puis à des évaluations secondaires à mesure que la construction progresse, en se concentrant particulièrement sur les contraintes qui peuvent survenir.

Pour atténuer les géorisques éventuels, les sociétés ont indiqué utiliser les données sur les géorisques pour recenser ces risques et les éviter d'entrée de jeu. Pendant le processus de construction, on se sert d'une unité de mesure inertielle pour saisir la forme du pipeline. Toutefois, dans le cas de pipelines plus âgés, les contraintes axiales restent difficiles à déterminer et les données de l'unité de mesure inertielle sont limitées.

Les participants ont discuté de l'analyse des données fournies par la Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (« PHMSA »), qui révèle que dans la majorité des cas de défaillance de pipeline aux États-Unis, les exploitants surveillaient le pipeline, mais la défaillance est survenue avant qu'ils aient pu prendre des mesures appropriées. Cela fait ressortir la nécessité de disposer d'un système complet et efficace capable d'intégrer toutes les données disponibles et de les communiquer rapidement aux personnes concernées.

Les participants ont indiqué qu'ils souhaitent que la gestion des menaces géotechniques évolue de la même façon que la gestion de la fissuration par corrosion sous contrainte. Les sociétés veulent un cadre complet qui les guide dans toutes les étapes de la gestion des menaces, en assurant l'uniformité et le respect des pratiques reconnues. Bien que de nombreuses sociétés excellent dans la surveillance de l'état d'un pipeline, le défi consiste à déterminer les mesures appropriées à prendre en fonction des données recueillies. Il est difficile de justifier le besoin de financement pour remédier à d'éventuelles défaillances dont les conséquences sont incertaines. L'industrie souhaite une approche constante et reconnue qui ferait consensus et faciliterait la prise de décisions.

Il a été déterminé que pour mesurer la déformation par flexion, il n'est pas de pratique courante de s'en remettre à des exigences supérieures de la part des fournisseurs relatives à la déformation. Les déformations sont habituellement mesurées en analysant les courbures et les effets de courbure. Cette approche fournit des renseignements utiles sur les degrés de déformation du pipeline, ce qui permet aux sociétés d'évaluer efficacement son intégrité structurale.

### **Pratiques des sociétés pipelinières et exigences des normes**

Les participants ont indiqué qu'il est de pratique courante de se servir des avis de sécurité comme référence pendant l'étape technique initiale des projets. Ces avis sont soigneusement intégrés au processus de conception afin de s'assurer de traiter adéquatement les questions de sécurité. Cependant, l'un des défis auxquels ce groupe fait face est la validation rapide de nouvelles méthodes de soudage. Il est souvent difficile de valider rapidement ces méthodes, ce qui nuit à l'avancement des travaux techniques.



Dans certains cas, des essais de traction axiale sont effectués à des fins d'information. Ces essais fournissent de précieuses données sur la résistance à la traction des matériaux utilisés. Ils aident à comprendre les capacités et les limites de la construction d'un pipeline. Toutefois, il est important de noter que cette pratique peut ne pas être universellement adoptée par toutes les sociétés.

Certains participants étaient d'avis que les sociétés du secteur intermédiaire ont tendance à se conformer aux exigences et aux normes minimales. Cela donne à penser qu'elles satisfont peut-être aux critères de sécurité de base sans nécessairement les dépasser. D'autre part, une croyance répandue veut que l'industrie en amont impose souvent ses normes aux pipelines en aval qui se raccordent à leur infrastructure. Cette dynamique met en évidence l'influence et l'interaction entre les différents secteurs de l'industrie.

Il a été question des essais de traction axiale effectués principalement pour les conduites de nuance supérieure, comme X65 ou supérieure. Cela signifie que, dans le cas des conduites de nuance inférieure, on accorde une importance relativement moindre aux essais de traction. Cependant, la question de la zone affectée par la chaleur préoccupe tout le monde. Ce problème est reconnu comme un défi courant qui doit être résolu, quelle que soit la nuance de la conduite.

Un conférencier a mentionné que la référence numérique « 386 » signifie que les décisions sont prises en fonction de la recherche d'un équilibre entre la correction de problèmes existants et la conception de pipelines répondant à des exigences précises. Elle signifie qu'il faut trouver un équilibre entre la résolution de préoccupations immédiates et la construction de pipelines conçus pour fonctionner de façon optimale à long terme.

### **Conduites utilisées dans le cadre d'un projet**

En ce qui concerne les procédures applicables aux conduites, le groupe a insisté sur l'importance de vérifier la disponibilité des conduites et de les soumettre à de telles procédures lorsqu'elles existent. Il reconnaît qu'à mesure que les projets et les conduites évoluent, il faut constamment mettre au point de nouvelles techniques.

Il a été question du processus de validation qu'utilisent les soudeurs et du recours à des essais de traction, notamment. Les soudeurs procèdent habituellement à une validation préalable des conduites de projet et peuvent éventuellement les valider avec un équivalent en carbone de 0,45 Ce. La préoccupation au sujet du ramollissement de la zone affectée par la chaleur a été soulevée comme une autre question à examiner.

L'ampleur du projet de validation des matériaux a été mentionnée et la possibilité de valider une production entière pour les besoins d'une autre validation. Cela suggère un processus d'évaluation exhaustif pour assurer le caractère approprié et la qualité des matériaux utilisés.

Les participants ont souligné l'importance d'inclure les essais de déformation due à la traction dans la norme. En l'absence de données sur les propriétés de traction, il est difficile de prévoir les problèmes qui pourraient survenir des années plus tard, en particulier dans les zones où des contraintes longitudinales sont présentes.

Pour les projets mécanisés de grande envergure, le groupe a reconnu qu'il fallait tenir compte des contraintes de levage. L'analyse et la planification des contraintes seraient donc prises en compte pour assurer l'exécution sécuritaire et efficace de tels projets.

## Surveillance de la construction

Les participants ont indiqué que dans le domaine de la surveillance de la construction, les sociétés se demandent souvent si les entrepreneurs respectent avec diligence les normes de construction établies et si le respect de ces normes est appliqué efficacement lors des inspections. Il est essentiel de pouvoir se fier à l'élaboration de procédures faciles à suivre. Une surveillance responsable est nécessaire pour s'assurer que tous les éléments sont réunis de façon harmonieuse.

Les participants ont indiqué que l'élaboration de méthodes de soudage pratiques qui donnent des résultats satisfaisants est une priorité. Cela signifie la création de méthodes pour assurer la fusion appropriée, l'absence de laitier, la facilité de nettoyage et d'autres caractéristiques souhaitables. Lorsque les méthodes sont bien conçues, les gens sont plus susceptibles de les suivre, ce qui améliore l'exécution globale.

L'un des défis soulevés par les participants de l'industrie de la construction est la résistance des entrepreneurs à modifier les méthodes de soudage. Il n'est pas inhabituel que des personnes s'acquittent de tâches spécialisées, comme un travailleur qui a la responsabilité exclusive de déplacer les échelles d'une manière particulière. Lorsqu'on tente d'introduire des modifications, comme l'intégration de pratiques à faible teneur en hydrogène ou l'insistance sur l'importance de bien former les cordons et de bien choisir les machines, il peut y avoir de la résistance en raison des coûts supplémentaires perçus. Dans ce cas, il est essentiel de trouver un équilibre entre les exigences essentielles et la gestion des coûts.

L'accent est mis plus particulièrement sur la conception et les méthodes de soudage, mais la véritable préoccupation réside dans la mise en œuvre sur le terrain. Ce qui soulève la question suivante : Comment pouvons-nous nous assurer que ce qui a cours sur le terrain est conforme à la conception prévue? Les processus mécanisés offrent l'avantage d'une plus grande uniformité et d'un meilleur contrôle. Le recours à des techniques mécanisées accroît la probabilité d'obtenir des résultats constants sur le terrain, ce qui augmente la confiance dans le processus de construction dans son ensemble.

## Groupe de l'industrie et communication des connaissances

On a discuté du fait que malgré la dissolution de l'Association canadienne de pipelines d'énergie (« CEPA »), l'industrie pourrait encore se réunir et collaborer. D'ailleurs, certains sous-comités de la CEPA existent toujours malgré l'absence de l'association. Pour améliorer la collaboration, on a proposé l'idée de former des « clubs de compétences » au sein desquels les parties prenantes de l'industrie pourraient déterminer collectivement les secteurs qui pourraient être à l'origine d'occasions de recherche et de développement. Cela témoigne de la reconnaissance de la nécessité de combler les lacunes dans les connaissances au sein de l'industrie.

Dans le contexte de la conception des soudures, il a été suggéré d'étudier l'effet du processus de « vieillissement » sur les conduites qui traversent le réchauffeur, sans l'application de revêtement. En connaissant de quelle façon l'acier se renforce pendant le processus de vieillissement, il serait possible de mieux comprendre comment réaliser des soudures aux propriétés supérieures. Cependant, il a été déterminé que la mise en œuvre de cette approche au niveau de la fabrication des conduites à grande échelle pourrait ne pas être réalisable.

L'échange d'information au sein de l'industrie prend souvent beaucoup de temps. Par exemple, la Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (« PHMSA ») et l'American Petroleum

Institute (« API ») ont publié de l'information et, dans les six semaines qui ont suivi, la PHMSA et le National Transportation Safety Board (« NTSB ») ont mis en place une plateforme la communication de l'information. Marathon a réussi à communiquer des renseignements pertinents. Le secteur en amont dispose de COSEA (« *Corrosion of Steel in Enclosed Areas* »), qui sert de plateforme pour échanger des connaissances et discuter ouvertement des menaces. On a également souligné que la CEPA avait par le passé facilité la communication d'information sur la fissuration par corrosion sous contrainte.

Comme étape supplémentaire, il a été suggéré d'encourager les sociétés à participer activement aux groupes de recherche sur la communication des connaissances. Auparavant, la CEPA jouait un rôle important à cet égard, mais son absence soulève la question du leadership. Il a été suggéré que l'Association canadienne de normalisation (« CSA ») reprenne le flambeau dans la formulation et la facilitation de telles initiatives. Il a aussi été proposé d'envisager des mécanismes parallèles par l'intermédiaire d'organisations comme la Régie de l'énergie du Canada ou l'atelier sur les pipelines de Banff. On a insisté sur l'importance de faire participer non seulement les membres de la CSA, mais aussi les acteurs de l'industrie pour éclairer les normes actuelles. La CSA est perçue comme offrant des ateliers et webinaires, et éventuellement des possibilités de financement.

Le Pipeline Research Council International (« PRCI ») et les projets conjoints de l'industrie ont été mentionnés comme exemples de collaborations qui se sont révélés efficaces. L'idée de créer des occasions pour les sociétés de participer à ces initiatives de collaboration a été soulevée, soulignant l'importance de travailler ensemble pour favoriser les progrès de l'industrie.

### **Détermination de la susceptibilité**

Déterminer la susceptibilité des réseaux pipeliniers est une tâche complexe qui exige la prise en compte de divers facteurs. L'un d'eux est la différence entre l'acier d'avant et celui d'aujourd'hui. Selon les participants, les aciers modernes ont une plus grande propension à ramollir dans la zone affectée par la chaleur, et le recours à un métal de soudure aux propriétés inférieures est plus fréquent, en particulier sur les conduites de nuance supérieure. Bien que la norme Z662 fournisse des lignes directrices sur la détermination de l'acceptabilité des bosselures, il faut aussi tenir compte du ramollissement des zones thermiquement affectées dans les soudures circonférentielles.

Pour corriger ce problème, l'industrie a vu émerger des recommandations et des projets conjoints axés sur le ramollissement des zones thermiquement affectées. Cependant, on s'inquiète du fait que certaines personnes n'ayant pas d'antécédents dans le domaine des matériaux ou de la fabrication suivent aveuglément ces recommandations, comme celles qui ont trait aux exigences liées au paramètre  $P_{cm}$ . Il faut un guide facile à comprendre et à interpréter par les professionnels de l'industrie.

La surveillance du mouvement du sol est essentielle pour évaluer l'intégrité des pipelines. Certaines méthodes employées comprennent la surveillance annuelle de la déformation, l'ingénierie et l'analyse statistique des données sur le mouvement du sol, ainsi que le suivi des conditions météorologiques au moyen de bases de données et d'avis météorologiques. Le but est d'avoir une approche algorithmique qui catégorise les risques associés au mouvement du sol et permet une intervention et des efforts d'atténuation en temps opportun.

Du point de vue de l'intégrité, certaines sociétés ont mis en œuvre des programmes misant sur l'inspection interne et l'unité de mesure inertielle pour détecter les contraintes locales sur les pipelines. Les programmes de gestion des contraintes jouent aussi un rôle dans la résolution des

préoccupations liées à l'intégrité. La modélisation des contraintes à l'étape de la conception, en tenant compte d'un échantillonnage de géorisques, des conditions d'exploitation et des contraintes de construction, est un autre aspect essentiel pour assurer l'intégrité des réseaux pipeliniers.

La discussion entourant la conception et le soudage des pipelines a évolué au cours des dernières années. Toutefois, une approche globale tenant compte des principes de conception des matériaux et des soudures reste nécessaire. Il est conseillé de ne pas réaliser une conception en s'attardant uniquement à la conformité aux normes, mais de fonder celle-ci sur des principes techniques fondamentaux. Cette approche doit tenir compte de l'analyse des contraintes, de la limite longitudinale des rues, des défauts de soudage éventuels et des problèmes liés à l'utilisation d'un métal de soudure aux propriétés inférieures.

La communication des connaissances et la collaboration au sein de l'industrie sont essentielles pour relever ces défis. Les clubs de compétences et les groupes de recherche collaborative peuvent faciliter l'échange de connaissances et susciter des occasions de recherche et de développement. Le rôle des associations de l'industrie comme la CSA et le PRCI, ainsi que des tribunes comme la CEPA, peut être déterminant dans la coordination de tels efforts, la communication d'orientations et la tenue d'ateliers pour améliorer la compréhension et les pratiques à l'échelle de l'industrie.

En conclusion, la détermination de la susceptibilité des pipelines exige une compréhension approfondie de facteurs comme les propriétés de l'acier, la conception des soudures, le mouvement du sol et l'analyse des contraintes. Il est important de combler les lacunes dans les connaissances, de promouvoir la collaboration et d'adopter une approche globale de la conception des pipelines et de la gestion de l'intégrité. En misant sur l'expertise de l'industrie, en incorporant les résultats de la recherche et en échangeant des pratiques exemplaires, l'industrie peut accroître la sécurité et la fiabilité des réseaux pipeliniers.

## Travaux plus poussés

Les changements apportés aux normes, même si celles-ci prescrivent souvent des exigences minimales, n'entraînent pas toujours l'adoption de pratiques exemplaires. Ces changements peuvent poser des difficultés aux petites sociétés qui ont de la difficulté à se conformer aux normes actualisées. En outre, il existe des lacunes dans les connaissances de l'industrie, en particulier en ce qui a trait à la métallurgie et à la composition des soudures. Par exemple, des programmes techniques précis axés sur ces disciplines, comme les programmes de génie au Canada, sont rares ou en baisse au niveau du premier cycle universitaire aux États-Unis. On souhaite donc de plus en plus élargir les discussions et les forums de recherche et développement dans l'industrie, comme le fait la NACE avec son modèle de collaboration.

Le concept d'un essai sur plaques larges incurvées a aussi fait l'objet de discussions. Certains participants ont confirmé qu'il ne s'agit pas d'un essai de production, mais plutôt d'un outil qui pourrait valider certaines conceptions ou servir d'outil de recherche. Un autre sujet de débat porte sur la conception axée sur les contraintes par rapport à la conception axée sur la déformation. La question qui se pose est de savoir si des exigences supplémentaires devraient être imposées en plus de la conception fondée sur les contraintes, qui pourraient comprendre des facteurs comme l'utilisation de métal aux propriétés supérieures dans toutes les soudures. Il est intéressant de noter que de nombreux clients ne s'occupent pas eux-mêmes des méthodes de soudage, mais les confient plutôt à de petites sociétés d'exploitation. Les modifications à la norme Z662 ont été généralement bien accueillies, car elles devraient aider ces petites sociétés.

Les pratiques de remblayage ont aussi fait l'objet de discussions. Il a entre autres été question de remblayage excessif et de surexcavation dans les niches, qui entraînent des problèmes comme l'ovalisation de la conduite. Il a été recommandé de corriger ces problèmes pendant la construction et d'éviter de creuser inutilement au-delà de ce qui est requis. Les grandes sociétés privilégient généralement les techniques mécanisées, tandis que le soudage au bâton demeure prédominant pour les conduites de petit diamètre au Canada.

En ce qui concerne les matériaux utilisés, il est arrivé que des conduites étiquetées X52 présentent des propriétés équivalentes à celles des conduites X60. Un premier pas vers l'amélioration a été reconnu dans la présentation de la sixième séance, mais il a été suggéré que d'autres améliorations pourraient être envisagées au cours des quatre prochaines années, en tenant compte des difficultés qui pourraient se présenter.

Des préoccupations ont été exprimées au sujet de l'obligation éventuelle d'utiliser le paramètre  $P_{cm}$  dont l'efficacité ne fait pas l'unanimité. Cela est particulièrement pertinent lorsqu'il s'agit de l'acceptation de facteurs comme l'apport de chaleur parmi les principaux facteurs contribuant à la qualité des résultats.

## Prochaines étapes proposées

Les mesures recommandées ont fait l'objet de discussions et ont été proposées par les participants à l'atelier et les présentateurs. Ces mesures seront examinées par la Régie afin d'établir un plan d'action pour continuer de se pencher sur le problème. De nombreuses mesures ont été suggérées que différentes parties prenantes de l'industrie pourraient prendre pour améliorer la qualité des soudures circonférentielles utilisées sur les pipelines de transport. L'atelier a permis de recueillir les commentaires de nombreuses parties prenantes et sera mentionné dans le plan d'action.

Après avoir examiné plus en détail ces discussions et les suggestions présentées dans le présent rapport sommaire, la Régie déterminera les mesures qu'elle pourrait prendre. Entre-temps, la Régie poursuivra son travail avec diverses parties prenantes, notamment en participant aux comités d'élaboration de normes de la CSA.

Les tableaux 1 et 2 ci-dessous présentent les recommandations formulées durant les présentations et les séances en petits groupes, respectivement.

**Tableau 1 – Recommandations formulées lors des présentations**

Séance	N°	Recommandation
<b>1. Aperçu du problème</b>	1.1	Effectuer un examen préalable pour déterminer si une évaluation technique plus poussée est requise.
	1.2	Tenir compte de la capacité de déformation intrinsèque des conduites pour permettre le mouvement du sol.
	1.3	Utiliser un écart de 0,5 % ou une déformation totale de 0,75 % comme valeur de déformation pour définir la limite d'élasticité.
	1.4	Établir une limite supérieure pour le rapport entre la limite d'élasticité et la résistance à la traction pour les essais longitudinaux.
<b>2. Analyse des défaillances et incidents</b>	2.1	Utiliser l'unité de mesure inertielle pour surveiller et évaluer les niveaux de déformation dans les pipelines.
	2.2	Tenir compte de l'incidence sur la capacité de déformation au moment de choisir les matériaux du pipeline.
<b>3. Facteurs géotechniques à considérer</b>	3.1	Tenir compte des limites des lignes directrices géotechniques actuelles, en particulier en ce qui concerne les fondrières.
	3.2	Améliorer les modèles d'interaction conduite-sol dans des logiciels comme CAESAR II.
	3.3	Opter pour des systèmes de détection précoce des glissements de terrain et utiliser l'unité de mesure inertielle pour surveiller la déformation axiale.
	3.4	Choisir des tracés pipeliniers dans des zones de glissement de terrain plus lent et éviter les zones à risque élevé.
<b>4. Facteurs à considérer et problèmes de conduite – CSA</b>	4.1	Explorer les améliorations à apporter aux méthodes d'essai et envisager des essais obligatoires pour vérifier la résistance longitudinale.
	4.2	Élaborer un processus d'évaluation pour mieux comprendre le comportement de l'acier pendant le soudage.
	4.3	Fournir les propriétés longitudinales plutôt que les seules propriétés transversales.
	4.4	Former un groupe de travail sur les zones thermiquement affectées qui se concentrera sur l'apport de chaleur et ses effets sur le ramollissement de ces zones.
<b>5. Problèmes de soudage</b>	5.1	Envisager d'utiliser une électrode E8010 comme solution de rechange à haute résistance à l'électrode E6010 conventionnelle.
	5.2	Délaisser les électrodes à enrobage cellulosique pour atténuer la fissuration due à l'hydrogène.
	5.3	Délaisser les soudures à la racine au moyen d'une électrode E6010 à la faveur de soudures à l'hydrogène ou à l'arc avec métal gazeux.
<b>6. Problèmes liés à l'installation et à l'assemblage</b>	6.1	Tenir compte de la résistance réelle de la conduite lors de la conception et de la validation d'une méthode de soudage.
	6.2	Utiliser des procédés de soudage à faible apport de chaleur.
	6.3	Mettre en œuvre d'autres essais de validation des méthodes de soudage.
	6.4	Assurer la surveillance du soudage industriel et envisager la réalisation d'essais de résistance des tubes achetés.



<b>7. Norme B31.8 sur le soudage</b>	7.1	Respecter les normes pertinentes de l'ASME, en particulier la norme B31.8 qui sera révisée bientôt.
	7.2	Prendre des mesures pour atténuer la fissuration attribuable à l'hydrogène et le ramollissement de la zone affectée par la chaleur.
	7.3	Prendre des mesures de précaution en présence de contraintes longitudinales élevées dans les pipelines.

**Tableau 2 – Recommandations issues des discussions en petits groupes**

<b>Recommandation n°</b>	<b>Recommandation</b>
<b>8.1</b>	Élaborer des lignes directrices sur le cycle de vie axées sur l'identification, l'évitement, l'analyse des menaces, les études de référence et la surveillance de l'accumulation de déformations sur les soudures circonférentielles.
<b>8.2</b>	Continuer de sensibiliser les gens à la question de la capacité de déformation des soudures circonférentielles en favorisant le dialogue.
<b>8.3</b>	Élaborer des lignes directrices sur la conception, la construction, l'entretien et les matériaux.
<b>8.4</b>	Élaborer une méthode d'évaluation de l'accumulation de déformation des soudures circonférentielles.
<b>8.5</b>	Faire des recherches sur les effets des imperfections sur la capacité de contrainte de traction en ce qui a trait à l'accumulation de déformation des soudures circonférentielles.
<b>8.6</b>	Cerner les améliorations possibles aux normes CSA des séries Z662 et Z245.
<b>8.7</b>	Cerner d'autres impondérables grâce à la recherche et au développement.
<b>8.8</b>	Élaborer un programme de compétences dans le cadre duquel des personnes peuvent être formées pour évaluer et gérer les problèmes d'accumulation de déformation des soudures circonférentielles.

