



Mise à jour technique sur l'aptitude fonctionnelle des canaux de combustible dans les centrales nucléaires canadiennes

Réunion de la Commission, 23 janvier 2018

CMD 18-M4



Présentation du personnel de la CCSN



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018

CMD 18-M4

Objet de la présentation

Dans le cadre de la gestion du vieillissement des installations actuellement en exploitation, le personnel de la CCSN présente les fondements scientifiques des évaluations de l'aptitude fonctionnelle des canaux de combustible pour étayer les informations techniques nécessaires aux recommandations réglementaires.



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Documents CMD précédents

Les tubes de force ont déjà été mentionnés à l'occasion de plusieurs audiences visant le renouvellement des permis de centrales nucléaires. Voici une liste des documents CMD contenant des renseignements techniques détaillés :

- *CMD 13-H2.A : Supplemental CNSC staff submission recommending Hold Point for OPG-Pickering (in connection with request to operate beyond 210,000 HEPP)*
- *CMD 14-H2 : CNSC Staff submission regarding OPG-Pickering request to remove 210,000 HEPP Hold Point*
- *CMD 14-M15 : OPG/BP technical briefing regarding PT fitness-for-service*
- *CMD 14-M15.1 : CNSC staff submission regarding PT fitness-for-service*
- *CMD 17-M12 : CNSC staff submission (follow-up) regarding Commission Meeting Item: CANDU Safety Issues*



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Aperçu de la présentation

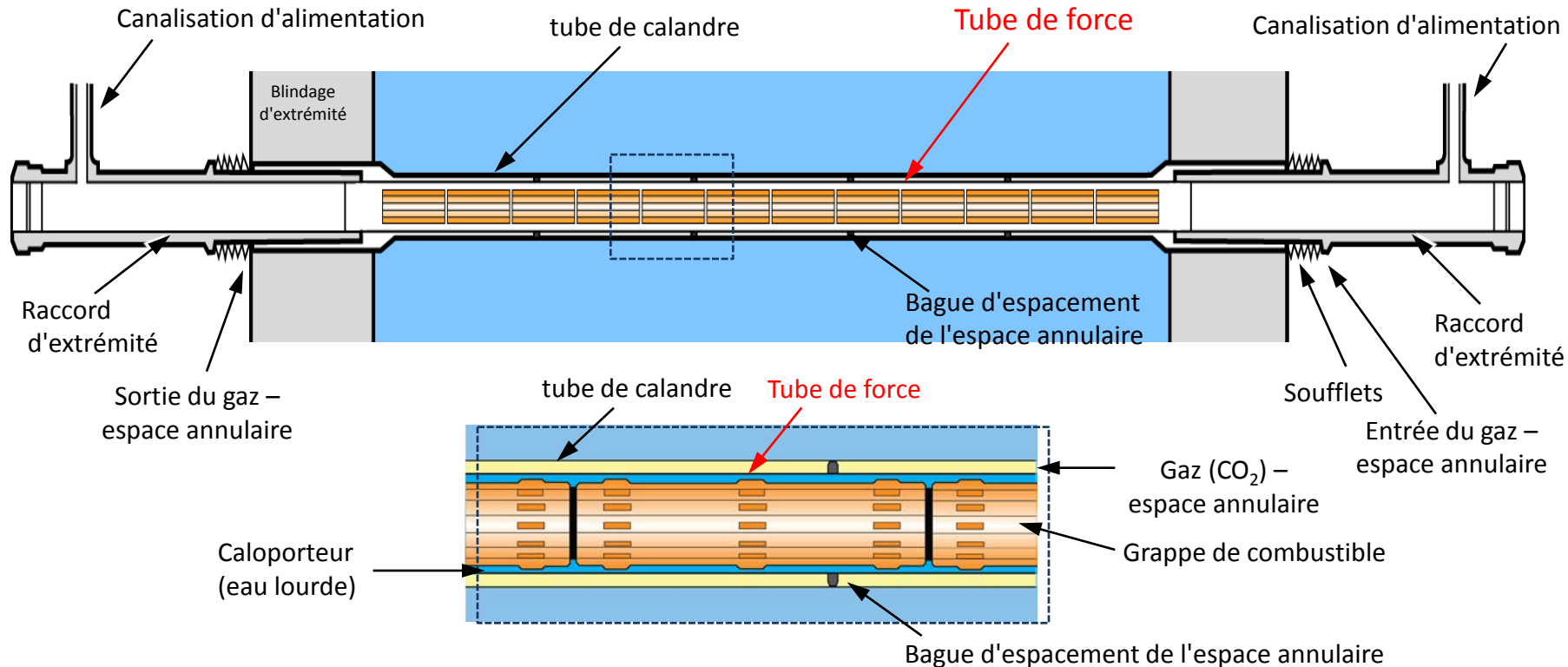
- Aperçu des canaux de combustible du réacteur CANDU
- Quelques concepts utiles
- Dégradation des tubes de force
- Aperçu réglementaire de la dégradation des tubes de force
 - Exemple 1 – défauts dans les tubes de force
 - Exemple 2 – ténacité réduite des tubes de force
- Évaluation par la CCSN des demandes de prolonger l'exploitation des tubes de force
 - Calendrier des demandes présentées par les titulaires de permis pour la prolongation de l'exploitation des tubes de force
 - Exploitation au-delà de 247 000 heures équivalentes pleine puissance (HEPP) : objet de l'examen réglementaire
- Résumé



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

APERÇU DES CANAUX DE COMBUSTIBLE DU CANDU

Canal de combustible du CANDU





Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

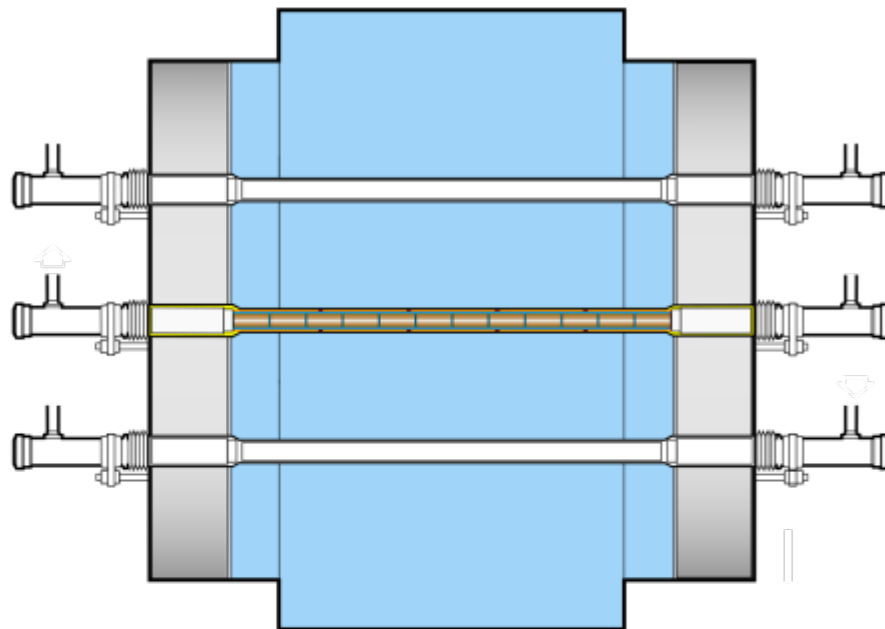
Canaux de combustible du CANDU (2 de 2)

Tubes de force

- 380 à 480 par cœur
- Placés à l'horizontale
- Zirconium avec 2,5 % de niobium (en masse)
- Dimensions
 - Longueur : 5,94 m
 - Diamètre : 103,4 mm
 - Épaisseur de la paroi : 4,2 mm

Conditions normales d'exploitation

- ≈ 250 °C (entrée) à ≈ 310 °C (sortie)
- ≈ 11 MPa (entrée) à ≈ 10 MPa (sortie)





Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

CONCEPTS TECHNIQUES



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Quelques concepts techniques

Avant de décrire les fondements sur lesquels s'appuient les évaluations des tubes de force, il est utile de revoir quelques concepts :

1. Aptitude fonctionnelle des tubes de force
2. Présence d'hydrogène et de deutérium dans les tubes de force
3. Unités utilisées pour décrire la durée d'exploitation des réacteurs



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Concept n° 1

Aptitude fonctionnelle des tubes de force (1 de 2)

- Les tubes de force font partie de l'enceinte de pression du circuit caloporteur primaire
- L'intégrité structurale du circuit caloporteur est un élément important du dossier de sûreté du réacteur CANDU
 - Dans les conditions normales d'exploitation, les tubes de force contiennent le caloporteur primaire sous haute pression et à haute température
 - Pendant les accidents de dimensionnement (postulés), les tubes de force refroidissent le combustible



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Concept n° 1

Aptitude fonctionnelle des tubes de force (2 de 2)

- Pour ces raisons, la conception des tubes de force doit offrir une probabilité extrêmement faible de défaillance dans toutes les conditions d'exploitation du réacteur :
 - Les tubes de force sont conçus pour ne pas fuir
 - Les tubes de force sont conçus pour résister à la propagation d'une fissure dans leur paroi pouvant mener à leur rupture

Objectif de l'aptitude fonctionnelle : s'assurer que les tubes de force continuent à remplir les fonctions pour lesquelles ils ont été conçus



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018

CMD 18-M4

Concept n° 1 Évaluations des tubes de force

Exigence de la CCSN :

Le titulaire doit démontrer que 100 % des tubes de force au cours d'une période future offriront un rendement acceptable

Évaluations de l'aptitude fonctionnelle
basées sur les résultats d'inspections
périodiques

30 % des tubes de force

+

Évaluations des risques* basées sur
des modèles acceptés par la CCSN

70 % des tubes de force

✓ **100 % des tubes de force évalués selon des critères d'acceptation définis**

* Exemples : Fuite avant rupture (diapo 22) et protection contre les bris (diapo 28)

e-Docs #5422679 (PPTX)

e-Docs #5436079 PDF



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Concept n° 2 Hydrogène et deutérium

- Bien que les trois isotopes de l'hydrogène soient importants pour le fonctionnement des réacteurs CANDU, seuls deux d'entre eux ont une incidence sur les tubes de force.
- Chaque tube de force contient un peu d'**hydrogène (H)**, provenant de sa fabrication.
- En présence de caloporteur chaud (eau lourde), les tubes de force se corrodent pour former de l'oxyde de zirconium. Cette réaction produit du **deutérium (D)**, dont une fraction est absorbée par le tube.
- Par convention, les concentrations de H et de D sont exprimées en milligrammes par kilogramme de matériau des tubes de force (ou en parties par million, ppm).
- Chaque tube de force contient du H et du D. Les deux sont souvent combinés et exprimés en une seule valeur : concentration d'hydrogène équivalent (Heq).
 - Par souci de commodité, le terme « Heq » sera utilisé dans le présent CMD.

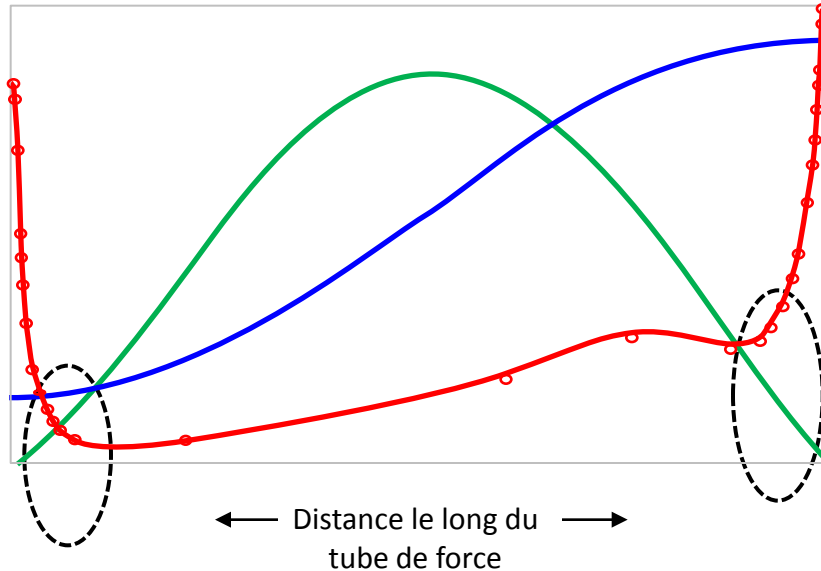


Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Concept n° 2

Facteurs influant la concentration de Heq le long d'un tube de force

entrée $\xrightarrow{\text{Sens d'écoulement du caloporteur}}$ sortie



Flux de neutrons rapides

Température du caloporteur

Concentration de deutérium

Parties du tube où une réduction potentielle de la ténacité exige un examen réglementaire accru pour assurer le maintien des marges de sûreté



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Concept n° 3

Unités de mesure de la durée d'exploitation des réacteurs

- La durée d'exploitation des réacteurs est décrite de deux façons :
 - **Périodes de température élevée** (HH) – comprend toutes les périodes pendant lesquelles la température du circuit caloporteur dépasse ≈ 200 °C
 - Comme les tubes de force se corrodent à ces températures, les périodes de température élevée constituent un paramètre utile pour comparer les concentrations de Heq
 - **Heures efficaces pleine puissance** (HEPP) – ce paramètre couvre uniquement les périodes pendant lesquelles le combustible subit des réactions de fission
 - Puisque les tubes de force sont irradiés par les neutrons rapides pendant ces périodes, les HEPP sont utiles pour faire le suivi de la dégradation découlant des dommages causés par les neutrons, p. ex., l'allongement des tubes de force
- Exemple : 1 année civile = 8 760 périodes de température élevée \approx 7 890 HEPP*

* Varie selon les centrales et les conditions d'exploitation



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

DÉGRADATION DES TUBES DE FORCE



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Dégradation des tubes de force en raison du vieillissement

- Situés dans le cœur du réacteur, les tubes de force sont exposés à des températures élevées, des pressions élevées et des champs de rayonnement intense.
- Ces conditions provoquent la dégradation en service.

1. Déformation des tubes de force

- Allongement
- Amincissement des parois
- Augmentation du diamètre
- Affaissement des tubes de force

2. Contact entre le tube de calandre et le système d'arrêt d'urgence par injection de liquide

3. Corrosion des tubes de force

4. Défauts des tubes de force

5. Dégradation des bagues d'espacement

6. Changements des propriétés du matériau même des tubes de force (la ténacité présente un intérêt particulier)



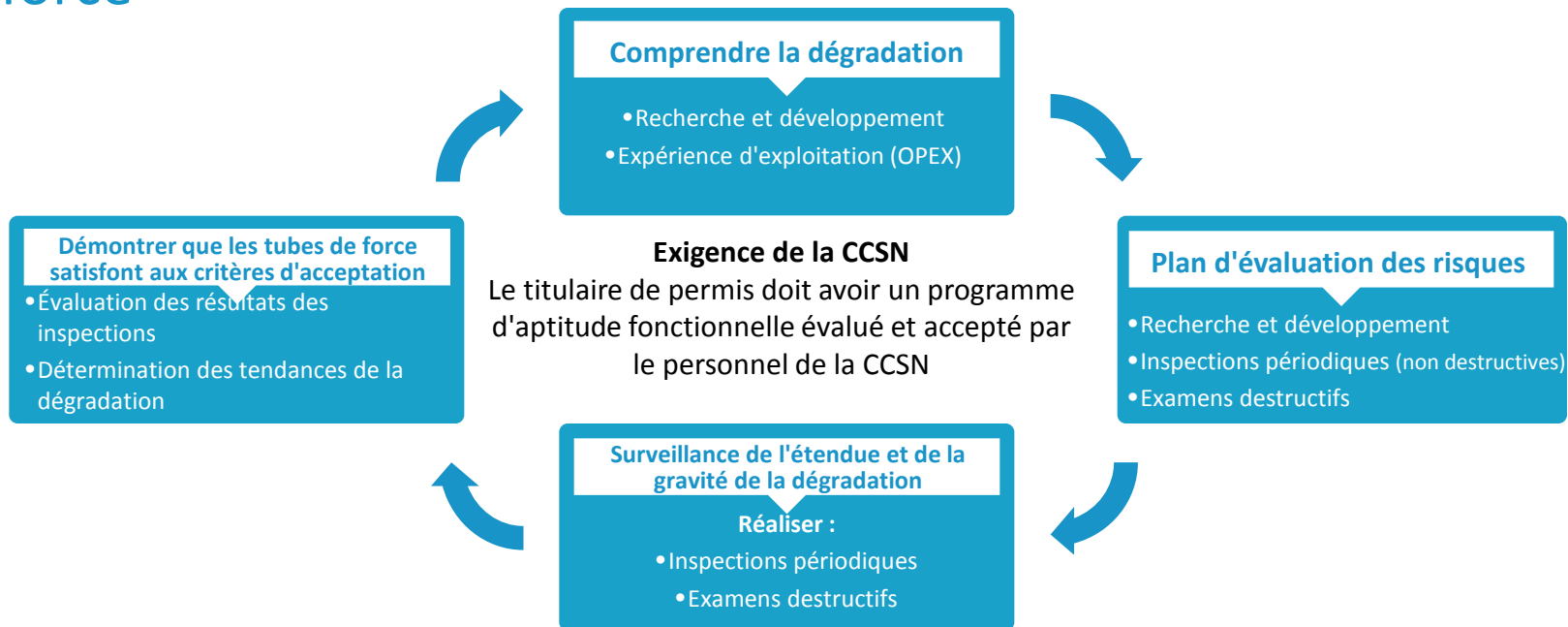
Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

SURVEILLANCE RÉGLEMENTAIRE



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Surveillance réglementaire de la dégradation des tubes de force





Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Gestion des risques par le personnel de la CCSN – deux exemples

Deux exemples de surveillance réglementaire par le personnel concernant la dégradation des tubes de force :

- Défauts dans les tubes de force
- Baise de la ténacité des tubes de force



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Exemple 1

Défauts des tubes de force (1 de 3)

Progression de la dégradation des défauts :

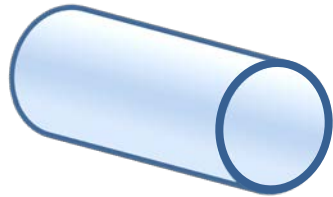
- Naissance du défaut dans le tube de force
- Le défaut évolue en fissure (p. ex., fissuration par hydruration retardée)
- La fissure se propage dans la paroi du tube -> perte de caloporteur primaire
- La fissure s'étend axialement le long du tube (***taux prévisible, par conception***)
 - **Fuite avant rupture** : le réacteur est refroidi et arrêté avant que la fissure dans le tube de force atteigne la « longueur critique » (point d'instabilité)
 - **Rupture avant fuite** : la fissure atteint la longueur critique avant que le réacteur puisse être arrêté

Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Exemple 1

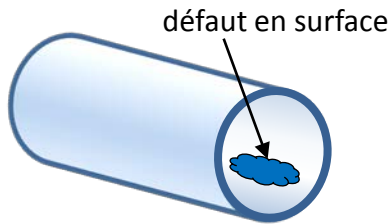
Dossier de sûreté pour les tubes de force (2 de 3)

**Barrière n° 1 – doit
passer l'inspection
initiale
(CSA N285.4)**



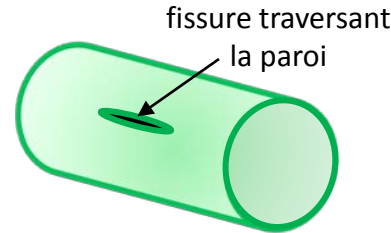
**Tube de force
installé**

**Barrière n° 2 – le
défaut détecté ne doit
pas donner lieu à une
fissure
(CSA N285.8)**



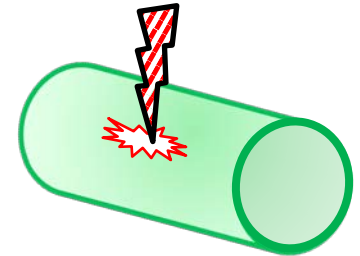
**Tube de force
inspecté**

**Barrière n° 3 –
démontrer qu'il y a fuite
avant rupture
(CSA N285.8)**



**Tube de force
non inspecté**

**Rupture du tube de force
(rupture avant fuite)**

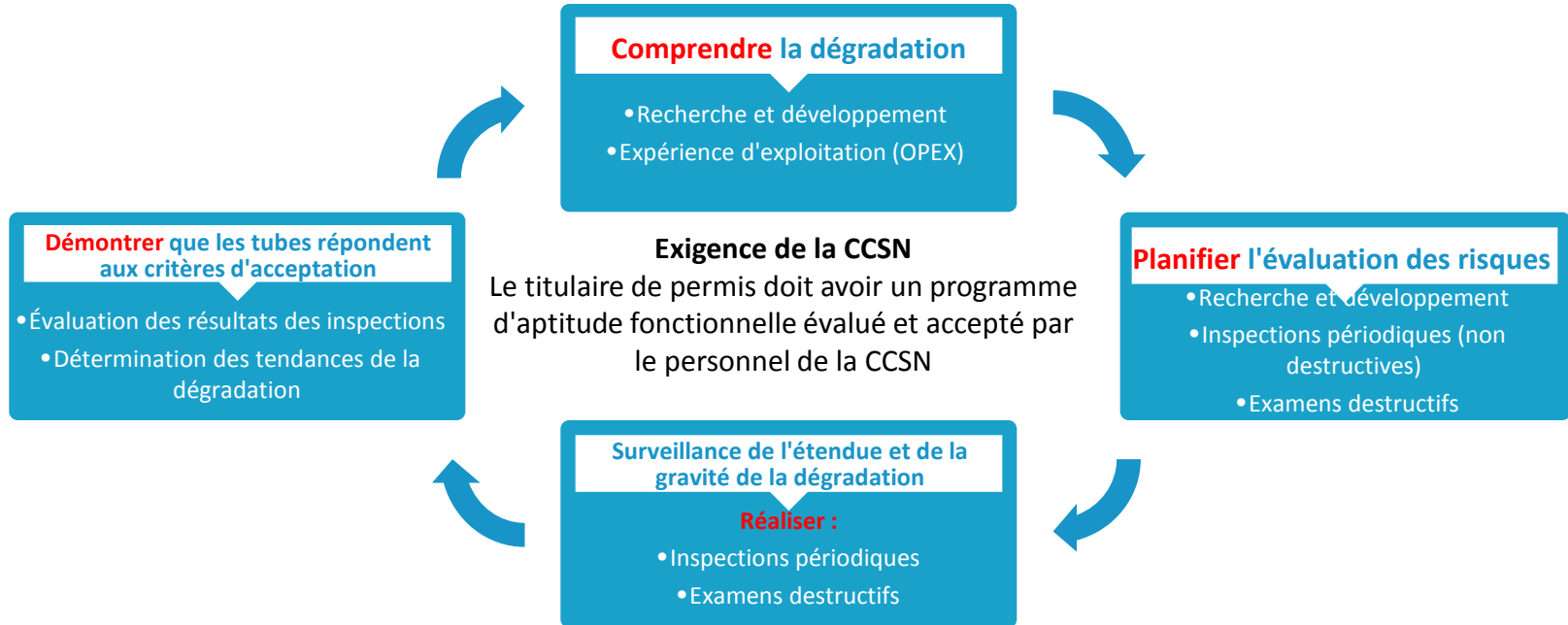


**Tube de force
non inspecté**



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Revenons à la diapo 20





Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Exemple 1

Défauts des tubes de force (3 de 3)

Exigence	Règlement	Mesures que doit prendre le titulaire de permis pour répondre aux exigences
Comprendre	REGDOC-2.6.3	Recherche et développement dans l'industrie; évaluations de l'état des canaux de combustible
Planifier	CSA N285.4 (selon le Manuel des conditions du permis)	Programme d'inspections périodiques (PIP); plan de gestion du cycle de vie des canaux de combustible
Réaliser	CSA N285.4, CSA N285.8 (selon le Manuel des conditions du permis)	Inspections périodiques; surveillance des matériaux des tubes de force; recherche et développement
Démontrer le respect des critères d'acceptation	CSA N285.4, CSA N285.8, REGDOC-2.6.3 (selon le Manuel des conditions du permis)	évaluations de l'aptitude fonctionnelle; inspections de suivi; recherche et développement



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018

CMD 18-M4

Exemple 2

Ténacité (1 de 5)

Définition* – résistance offerte par un matériau à la croissance d'une fissure

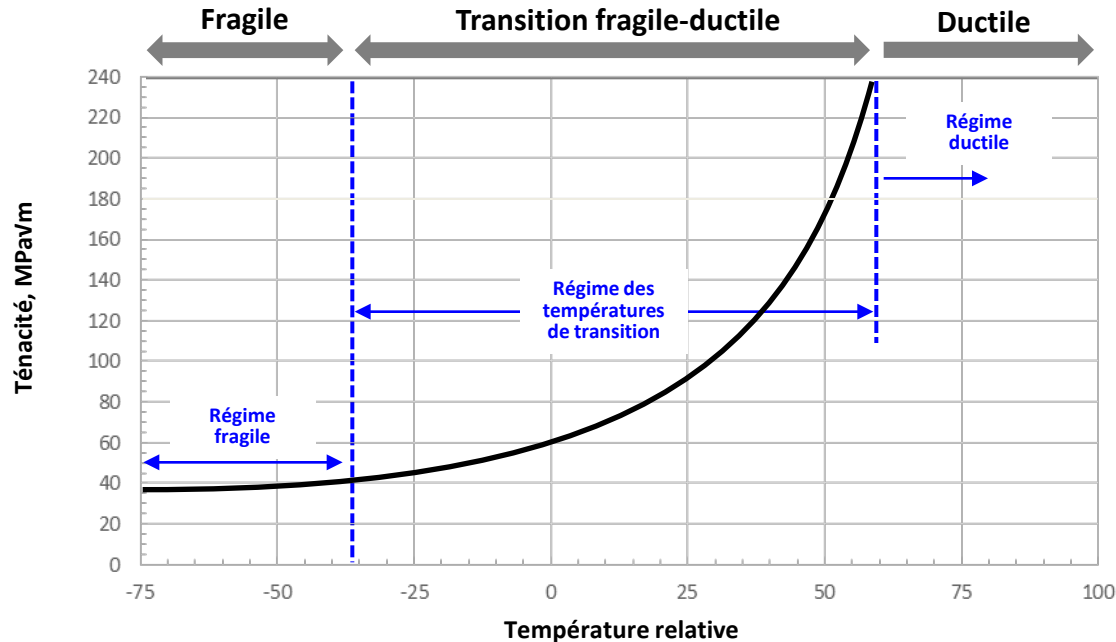
- La notion de ténacité est cruciale pour quantifier les risques que représentent les fissures postulées des tubes de force (tubes non inspectés)
- Situation unique
 - Contrairement aux défauts des tubes de force (qui peuvent être constatés et observés sur place), la ténacité ne peut être mesurée dans les tubes de force en service
 - On ne peut confirmer la ténacité d'un tube qu'après son retrait
 - **Pour prévoir le comportement de tubes de force en service, les titulaires de permis doivent utiliser des modèles**
- L'industrie s'appuie sur deux modèles prospectifs de ténacité
 - Modèle statistique de plage supérieure : prévoit la ténacité des tubes de force à ≥ 250 °C
 - **Modèle de zones cohésives** : prévoit la ténacité pour une plage inférieure et les régimes de transition

* Carter & Paul, *Materials Science & Engineering* ASM International, © 1991



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Exemple 2 Ténacité (2 de 5)



- Relation entre la limite inférieure de la ténacité et la température
- Données tirées d'essais destructifs d'échantillons irradiés d'acier de la cuve de pression d'un réacteur à eau légère
- Trois régimes de comportement à la fracture



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Exemple 2

Ténacité (3 de 5)

- L'examen périodique (destructif) des tubes de force a confirmé leur ténacité adéquate à court terme, c.-à-d. qu'on a démontré avec succès qu'il y aura fuite avant rupture
- Cependant, les travaux de recherche et développement ont démontré que la ténacité des tubes de force a diminué et continuera de diminuer à mesure que les concentrations de Heq augmentent
- Pour s'assurer que les tubes de force peuvent remplir leurs fonctions prévues :
 - Dans des conditions normales d'exploitation (≥ 250 °C), les tubes de force doivent être **entièrement ductiles** pour répondre aux charges prévues selon des accidents de dimensionnement (postulés). En d'autres mots, 100 % des tubes de force dans un cœur doivent présenter un comportement dans le régime ductile
 - Pendant les phases de hausse ou de baisse de la température du réacteur (35 °C à 250 °C), le comportement des tubes de force pendant la transition doit, être connu et la ténacité doit être adéquate.
- La diapo suivante traite de l'incidence d'une diminution de la ténacité pendant les phases de hausse ou baisse de température

Voir la diapo 26



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018

CMD 18-M4

Exemple 2

Ténacité (4 de 5)

Enveloppe de hausse et baisse de température du circuit caloporteur*

- **Exigence réglementaire** – le titulaire de permis doit exploiter le circuit caloporteur (CCP) afin de maintenir l'intégrité des composants de l'enveloppe de pression
 - Dans le cas des tubes de force, le titulaire de permis doit établir une « enveloppe » à l'intérieur de laquelle l'exploitant peut ajuster la pression et la température pendant les phases de démarrage et d'arrêt du réacteur
- La limite supérieure de l'enveloppe est définie selon une **évaluation de la protection contre la fracture des tubes de force**. En supposant l'existence d'une fissure à travers la paroi d'un tube non inspecté, l'évaluation calcule la pression d'exploitation maximale au-delà de laquelle la fissure serait instable
- La ténacité est un facteur clé
 - Jusqu'à présent, les concentrations de Heq étaient suffisamment faibles pour que la ténacité des tubes de force demeure élevée. On s'assurait ainsi une marge de sûreté raisonnable entre l'enveloppe de hausse ou baisse de température et la pression admissible maximale du circuit caloporteur
 - Cependant, la ténacité des tubes de force a diminué avec l'augmentation des concentrations de Heq, et les titulaires de permis peuvent modifier leurs enveloppes de hausse ou baisse de température afin de demeurer sous les valeurs de pression maximale, mais on doit démontrer que les marges de sûreté sont adéquates
- Comme la ténacité des tubes de force ne dépend que des concentrations de Heq lorsque la température se trouve à l'intérieur de la plage de hausse ou baisse de température, on s'attend à ce qu'il existe une ample marge de sûreté dans des conditions normales d'exploitation

e-Docs #5436079 (PPTX)
e-Docs #5436079 PDF

* voir l'annexe



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Exemple 2 Ténacité (5 de 5)

- Exigences réglementaires similaires à celles de la diapo 24
- ✓ Les activités des titulaires de permis comportent un degré d'effort et d'attention semblable à ce qui est requis pour les évaluations de l'aptitude fonctionnelle (p. ex., défauts des tubes de force).



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

ÉVALUATION PAR LA CCSN DE L'EXPLOITATION PROLONGÉE DES TUBES DE FORCE

e-Docs #5422679 (PPTX)

e-Docs #5436079 PDF

Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

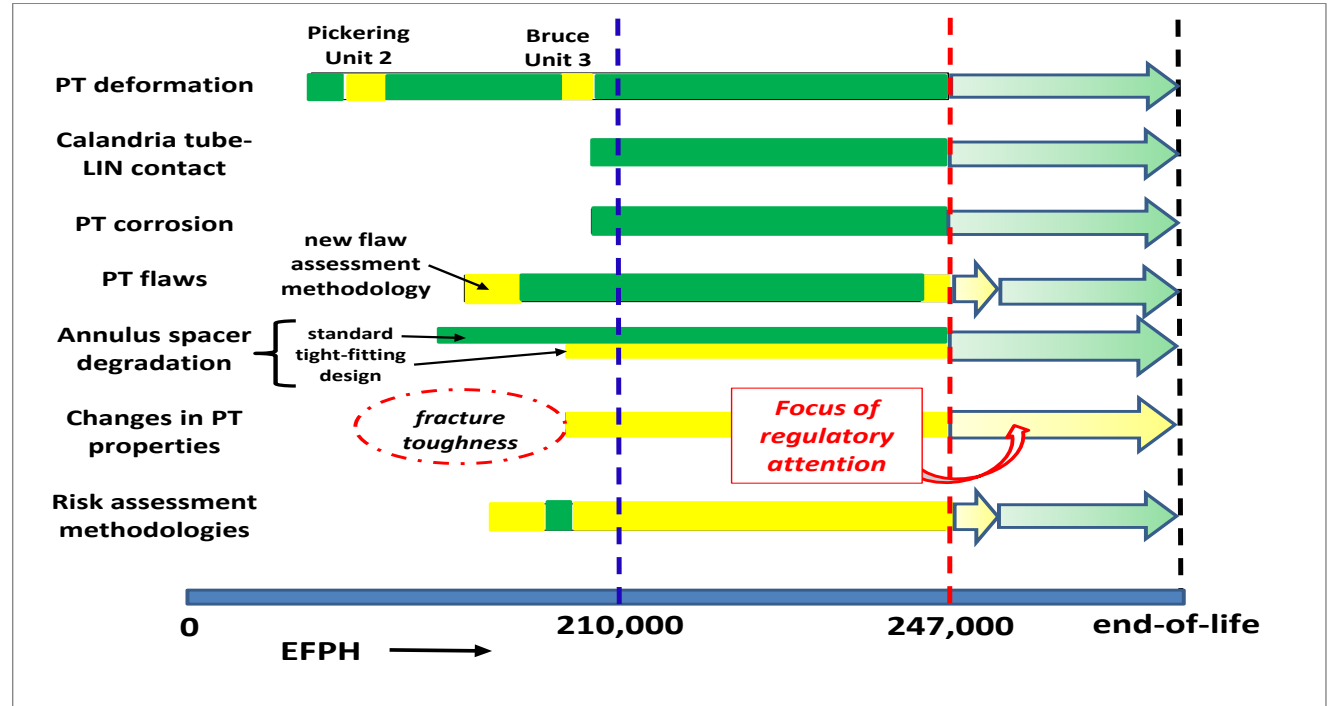
Évaluation par la CCSN de l'exploitation prolongée des tubes de force (1 de 2)

PERP existant

- Mesures satisfaisantes prises par le titulaire de permis
- Examen réglementaire accru requis

PERP demandé

- Le personnel prévoit un rendement satisfaisant de la part du titulaire de permis
- Le personnel prévoit le besoin continu d'un examen accru





Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Évaluation par la CCSN de l'exploitation prolongée des tubes de force (2 de 2)

Exploitation au-delà de 247 000 HEPP?

- Le personnel de la CCSN évalue les progrès du titulaire de permis par rapport aux points en suspens (diapo 31)

Problème	Situation en 2014 (avant les 210 000 HEPP)	Situation actuelle
Dégradation des bagues d'espacement à ajustement serré dans l'espace annulaire	Données limitées; travaux modestes visant à comprendre le phénomène de dégradation	<i>Données additionnelles recueillies; meilleure compréhension du phénomène; des lignes directrices concernant le système d'arrêt primaire ont été rédigées</i>
Méthodes d'évaluation des risques des tubes de force	Nouvelles méthodes proposées; expérience pratique limitée	<i>Utilisation de 2 méthodes approuvée, en attente d'une décision réglementaire sur une 3^e méthode</i>
Ténacité	Validation et expérience limitées concernant les deux nouveaux modèles	<i>Élaboration et validation d'un nouveau modèle? Traitement des incertitudes?</i>





Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

RÉSUMÉ



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Résumé (1 de 2)

Mécanismes de dégradation des tubes de force

- **Attente de la CCSN** – les titulaires de permis doivent comprendre à fond le phénomène de dégradation des tubes de force, en se fondant sur des travaux poussés de recherche et de développement et sur un programme OPEX efficace
- **Exigence de la CCSN** – les titulaires de permis doivent inspecter régulièrement les tubes de force afin de surveiller l'occurrence et la gravité des mécanismes de dégradation connus et nouveaux
- **Surveillance réglementaire exhaustive et efficace**
 - Examens des évaluations de l'aptitude fonctionnelle des titulaires de permis , des évaluations des risques, des inspections de type II, examens périodiques de l'état des connaissances techniques dans l'industrie
 - Attentes claires et bien documentées (REGDOC-2.6.3, plans de conformité à la norme N285.8)
 - Critères efficaces de vérification de la conformité dans le Manuel des conditions de permis
 - Mises à jour régulières présentées à la Commission (Rapport annuel de surveillance réglementaire)



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

Résumé (2 de 2)

Réduction de la ténacité

- Programme spécialisé de recherche et développement par l'industrie en cours
- **Les attentes réglementaires n'ont pas changé** : les titulaires de permis doivent démontrer que les tubes de force sont et continueront d'être capables de remplir les fonctions pour lesquelles ils ont été conçus (une *probabilité extrêmement faible de défaillance*)
- Pour être acceptés par le personnel de la CCSN, les modèles doivent prédire de façon prudente la ténacité des tubes de force sur une plage de HEPP et de concentrations de Heq, comme le montre l'annexe.

Restez branchés!

Joignez-vous à la conversation



suretenucleaire.gc.ca





Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

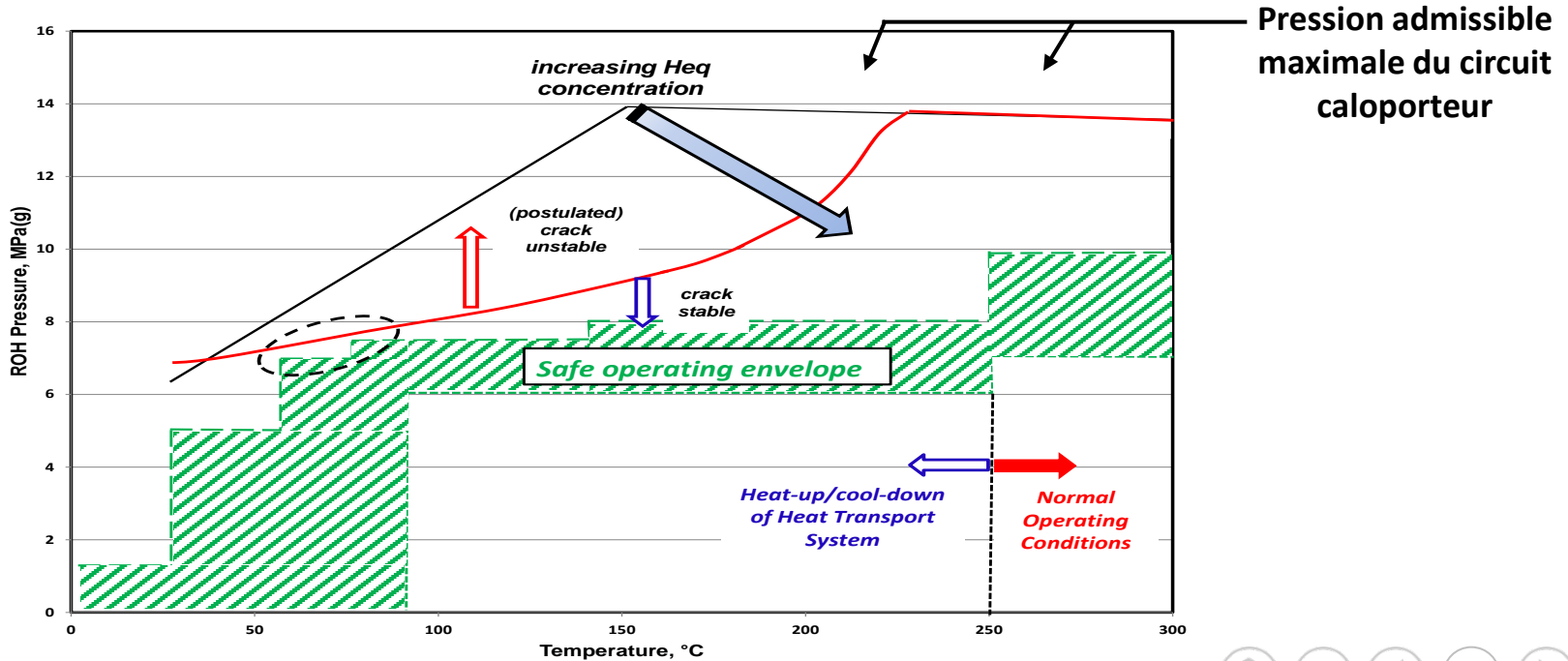
ANNEXE



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

ANNEXE

Enveloppe type de hausse ou baisse de température du circuit caloporteur





Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

ANNEXE

Les tubes de force au Canada

Centrale	Nombre de canaux de combustible	Cœurs existants		Cœurs remis à neuf	
		Entrée en service des tubes originaux	HEPP (en date de décembre 2017)	Entrée en service des nouveaux tubes	HEPP (en date de décembre 2017)
Pickering, tranches 1 et 4	390	(1983), (1993)	134 000		
Pickering, tranches 5 – 8	380	1982 – 1985	237 000		
Darlington, tranches 1, 3, 4	480	1990 – 1993	196 000		
Bruce, tranches 1 et 2	480			Automne 2012	35 000
Bruce, tranches 3 et 4	480	1977 – 1978	211 000		
Bruce, tranches 5 – 8	480	1984 – 1987	233 000		
Point Lepreau	380			Automne 2012	35 000



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018

CMD 18-M4

ANNEXE

Dégradation en service des canaux de combustible (1 de 2)

Type de dégradation	Risque potentiel	Comment les titulaires de permis gèrent le risque
Déformation du tube de force		
<ul style="list-style-type: none"> Allongement 	Soutien potentiellement inadéquat du canal de combustible (<i>p. ex., séisme postulé</i>)	Inspections périodiques. Entretien des canaux de combustible
<ul style="list-style-type: none"> Amincissement de la paroi 	Réduction potentielle de la marge jusqu'à la rupture (<i>accident de dimensionnement postulé</i>)	Inspections périodiques
<ul style="list-style-type: none"> Croissance du diamètre 	Réduction potentielle de la marge jusqu'à l'assèchement du combustible (<i>accident de dimensionnement postulé</i>)	Inspections périodiques. Prise de mesures adéquates pour éviter l'assèchement du combustible
<ul style="list-style-type: none"> Affaissement 	Contact possible entre le tube de force et le tube de calandre (TC)	Inspections périodiques. Déplacement au besoin des bagues d'espacement de l'espace annulaire



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018

CMD 18-M4

ANNEXE

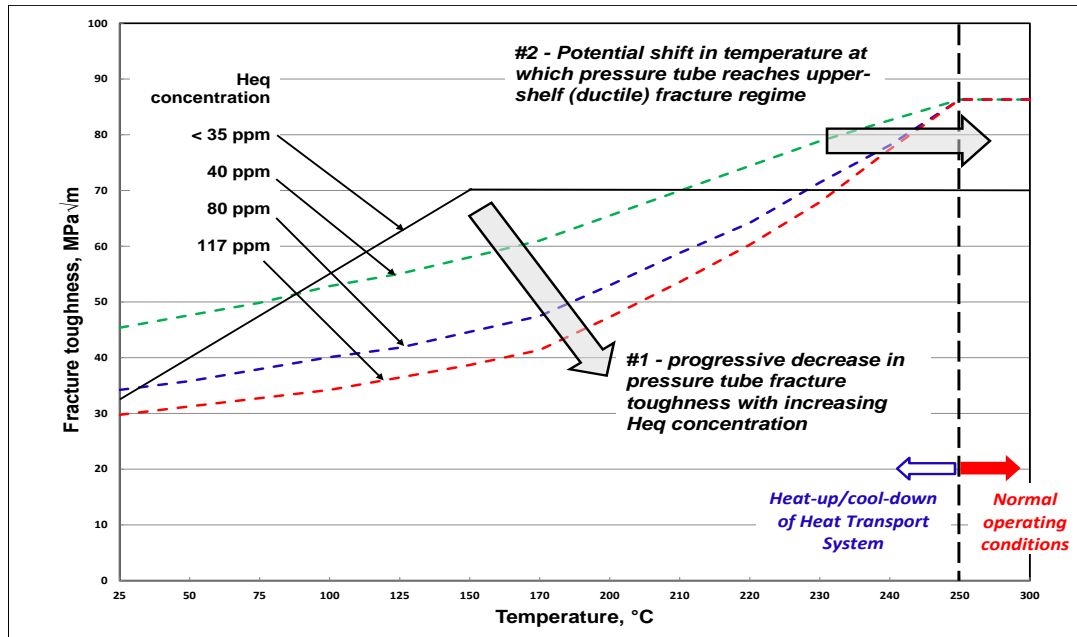
Dégradation en service des canaux de combustible (2 de 2)

Type de dégradation	Risque potentiel	Comment les titulaires de permis gèrent le risque
Affaissement du canal de combustible	Contact possible entre le tube de calandre et les buses d'injection de liquide (poison)	Inspections périodiques. Repositionnement des buses
Corrosion du tube de force	Réduction de l'épaisseur de la paroi du tube de force	Inspections périodiques
Défauts du tube de force	Fissuration par hydruration retardée (FHR), pouvant prendre naissance aux points de défaut	Inspections périodiques. Évaluation des risques d'un début de FHR
Dégradation des bagues d'espacement de l'espace annulaire	Contact possible entre le tube de force et le tube de calandre	Inspections périodiques (écart). Surveillance périodique des matériaux
Changements dans les propriétés du matériau du tube de force	Les principales propriétés mécaniques (p. ex., ténacité) divergent des valeurs présumées dans le dossier de sûreté du tube de force	Enlèvement périodique des tubes de force pour un examen destructif

Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

ANNEXE

Incidence d'une concentration accrue de Heq sur la ténacité des tubes de force (régimes de température – plage inférieure et transition)





Réunion de la Commission, 23 janvier 2018

CMD 18-M4

ANNEXE

Concentrations prévues de Heq pour les tubes de force en Ontario : près de l'entrée

Centrale	Projections		
		Juin 2018	Durée de vie cible
Pickering B	HEPP	234 680	289 000
	Heq, ppm	38	55-60
Darlington, tranches 1, 3, 4	HEPP	192 790	234 000
	Heq, ppm	45	66
Bruce A, tranches 3, 4	HEPP	215 035	255 000
	Heq, ppm	50	(inconnue)
Bruce B	HEPP	229 260	298 000
	Heq, ppm	40	70



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018
CMD 18-M4

ANNEXE

Concentrations prévues de Heq pour les tubes de force en Ontario : près de la sortie

Centrale	Projections		
		Juin 2018	Durée de vie cible
Pickering B	HEPP	234 680	289 000
	Heq, ppm	55	82
Darlington, tranches 1, 3, 4	HEPP	192 790	234 000
	Heq, ppm	52	127
Bruce A, tranches 3, 4	HEPP	215 035	255 000
	Heq, ppm	71	105
Bruce B	HEPP	229 260	298 000
	Heq, ppm	90	160



Réunion de la Commission, 23 janvier 2018

CMD 18-M4

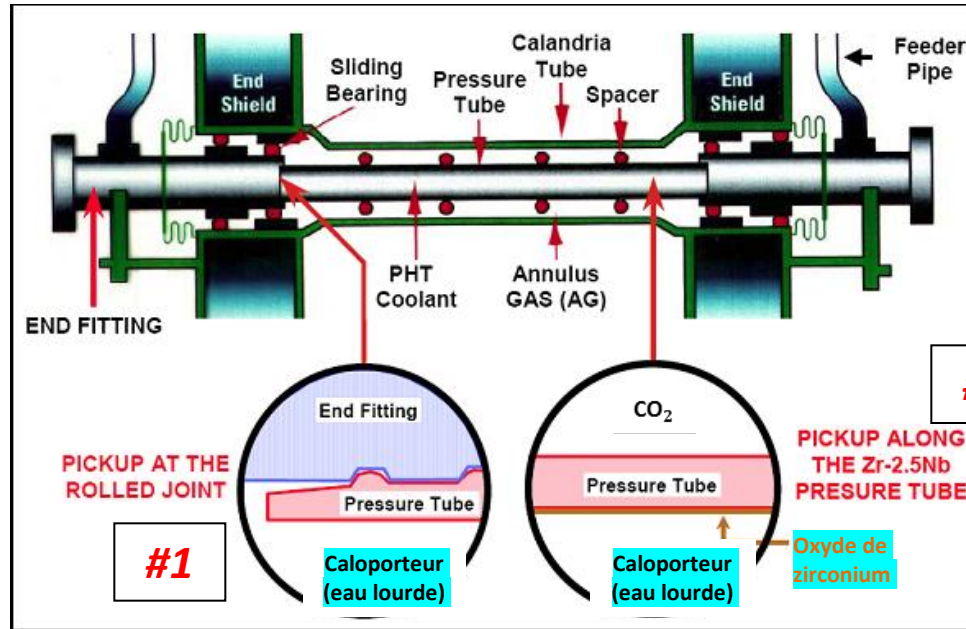
ANNEXE

Attributs d'un modèle acceptable

1. Le modèle devrait (de préférence) être basé sur une compréhension mécaniste du phénomène, ou s'appuyer sur des preuves expérimentales.
2. Le modèle doit être vérifié et ses prévisions validées avant son utilisation.
3. Les intrants et hypothèses du modèle doivent être indiqués et justifiés.
4. Les incertitudes du modèle doivent être quantifiées.
5. Afin de cibler les améliorations à apporter au modèle, une analyse de sensibilité s'avérera précieuse.
6. Les modèles prospectifs doivent être périodiquement revalidés.

ANNEXE

Sources d'absorption de deutérium





Réunion de la Commission, 23 janvier 2018

CMD 18-M4

ANNEXE

Sources de données sur les tubes de force

Programmes d'inspections périodiques (exigés par la CSA) ou en service (programme entrepris par le titulaire de permis, faisant partie du fondement d'autorisation)

- Fréquence : habituellement tous les 2 à 3 ans (arrêts prévus)
- Portée : 10 tubes de force (minimum selon la CSA); combinaison de tubes non inspectés et déjà inspectés
- Examens non destructifs portant sur les dimensions des tubes de force, l'écart entre le tube de force et le tube de calandre, les défauts, etc.
- Concentration de Heq

Surveillance des matériaux (exigence de la CSA)

- Fréquence : habituellement à tous les 2 à 4 ans
- Retrait d'un tube de force (avec les bagues d'espacement de l'espace annulaire si possible)
- Examens destructifs : Heq, propriétés des matériaux du tube de force (p. ex., ténacité)

Recherche et développement

- Plus de 35 ans d'efforts soutenus qui se poursuivent au sein de l'industrie canadienne