



Commission canadienne
de sûreté nucléaire

Canadian Nuclear
Safety Commission

Canada

Mise à jour : Programme de R-D sur les concentrations élevées d'hydrogène équivalent et programme amélioré d'aptitude fonctionnelle visant les tubes de force

Présentation du personnel de la CCSN

Réunion de la Commission

24 mars 2026

CMD 26-M10.A

Objet

Faire le point à l'intention de la Commission sur ce qui suit :

- l'état des activités de recherche et développement (R-D) sur les concentrations élevées d'hydrogène équivalent (Heq)
- l'état du programme amélioré d'aptitude fonctionnelle visant les réacteurs en exploitation prolongée

Ce CMD est fourni aux fins d'information seulement. Aucune décision n'est requise de la Commission.

Vue d'ensemble

- Introduction
- État des activités de R-D visant le Heq
- Évaluation de l'aptitude fonctionnelle des tubes de force
- Conclusions

Introduction

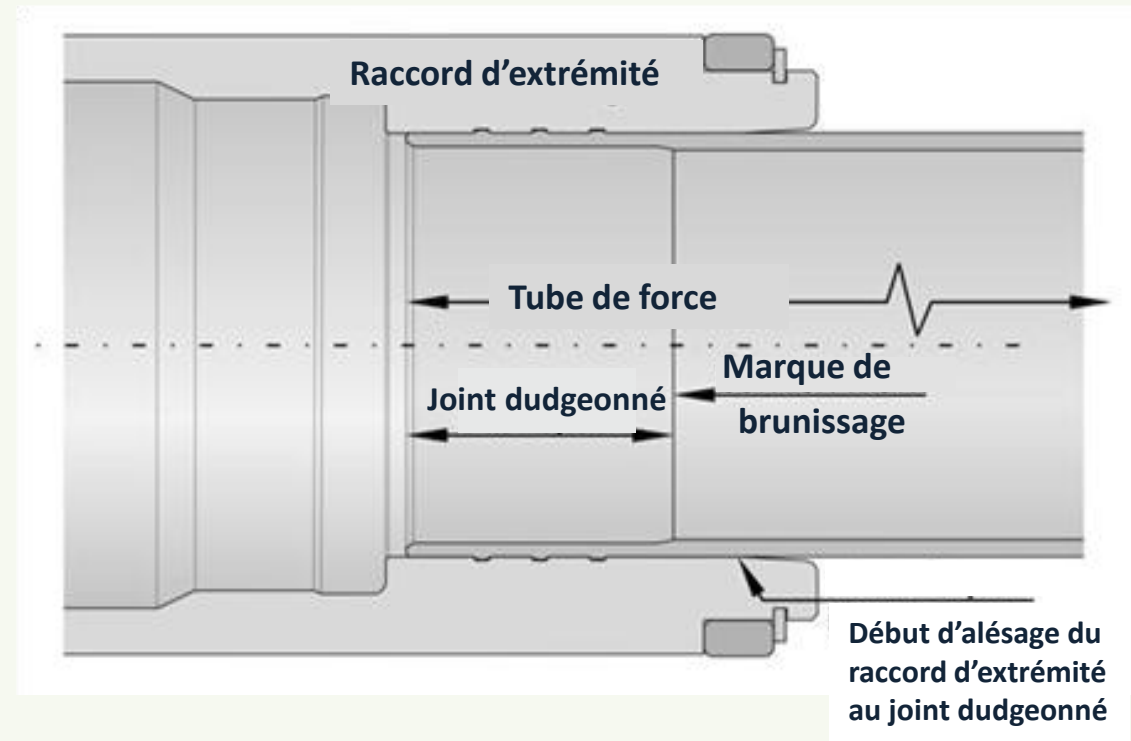
Réunion de la Commission

24 mars 2026

CMD 26-M10.A

Découverte de concentrations élevées de Heq

- En 2021, du Heq élevée a été découvert dans des tubes de force en exploitation prolongée
- Des concentrations élevées de Heq ont été découvertes près des marques de brunissage des joints dudgeonnés aux points d'entrée et de sortie
- Les valeurs de Heq dépassaient la limite administrative de 120 ppm



Source de l'image : Bruce Power

Tranches demeurant en exploitation prolongée

Titulaire de permis	Centrale	Tranche	Prévu de l'arrêt*
Bruce Power	Bruce-B	5	2026
		7	2028
		8	2030
Ontario Power Generation	Pickering-B	5	2026
		6	
		7	
		8	

- Les unités de Bruce seront mises à l'arrêt pour réfection
- Les unités de Pickering seront mises à l'arrêt pour la réfection proposée (en attente d'autorisation)

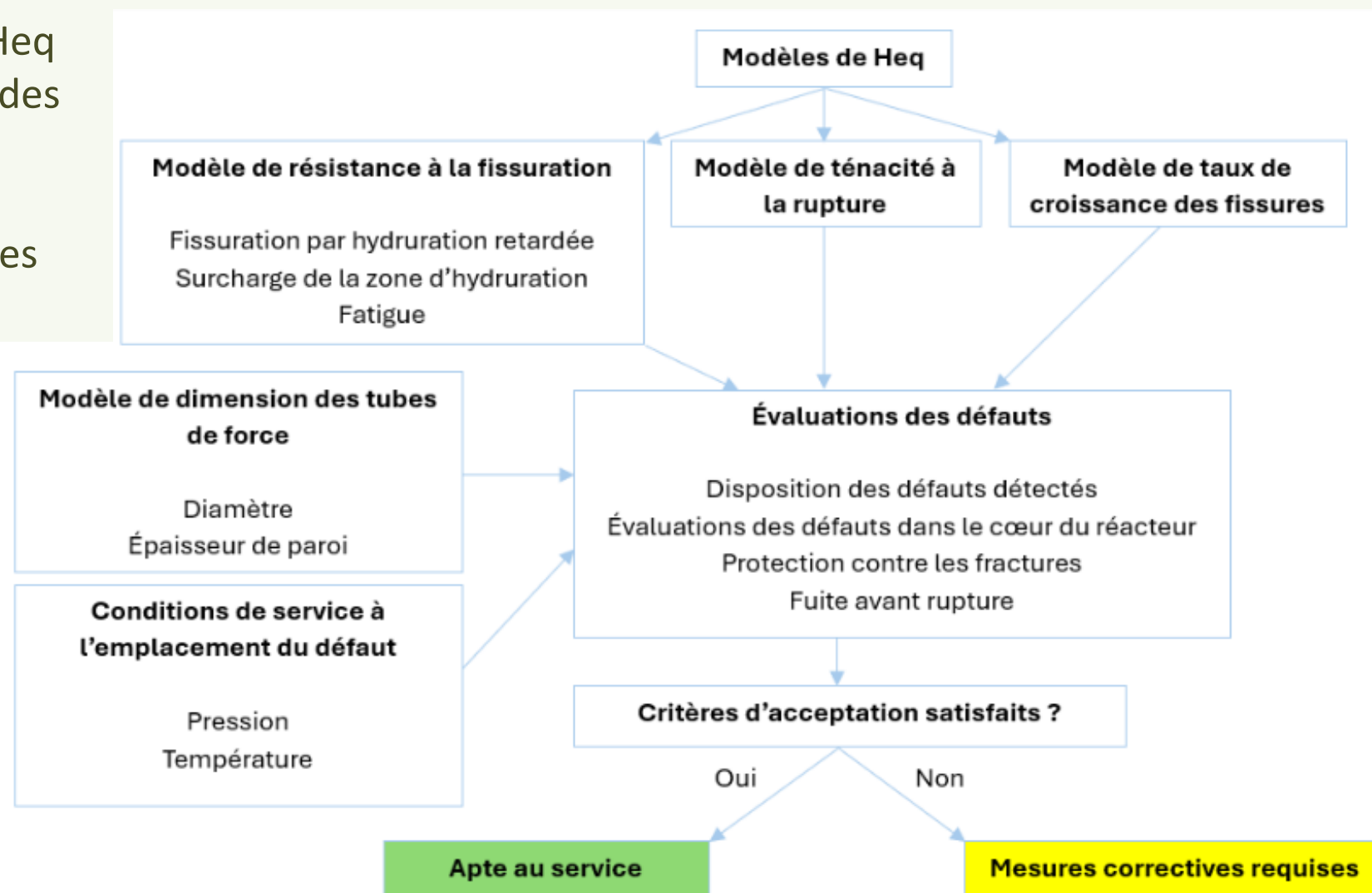
Condition de permis 6.1 :

CP 6.1 : Le titulaire de permis doit mettre en œuvre et tenir à jour un programme d'aptitude fonctionnelle.

La concentration de Heq est un paramètre clé des modèles servant à évaluer l'aptitude fonctionnelle des tubes de force

Aperçu des évaluations de l'aptitude fonctionnelle liées aux défauts dans les tubes de force

Source de l'image : Personnel de la CCSN



Condition de permis 6.2 :

En 2018, la **condition de permis (CP) 15.3** a été ajoutée aux **permis d'exploitation (PERP)** des centrales nucléaires de Pickering et de Bruce

CP 15.3 : Avant que la concentration d'hydrogène équivalent dépasse 120 ppm, le titulaire de permis doit démontrer que la ténacité à la rupture des tubes de force sera suffisante pour assurer un fonctionnement sûr au-delà de 120 ppm.

Après la découverte de concentrations de Heq supérieures à 120 ppm dans certains tubes de force, la **CP 15.3 n'était plus pertinente.**

La Commission a modifié les permis de sorte à retirer la CP 15.3 et à la remplacer par la CP 6.2

CP 6.2 : Le titulaire de permis doit mettre en œuvre et tenir à jour un programme amélioré d'aptitude fonctionnelle pour les canaux de combustible en exploitation prolongée

CVC* de rechange associés à la CP 6.2 (1/2)

- Établissement du programme de recherche sur la concentration de Heq pour confirmer/modifier les modèles requis aux fins d'évaluation des défauts conformément aux CVC associés à la CP 6.1
- Introduction par la CP 6.2 des critères de rechange temporaires fondés sur ce qui suit :
 - la faible probabilité de défauts induits par l'exploitation dans la zone du point de sortie des tubes de force de tous les réacteurs
 - la faible probabilité de défauts induits par l'exploitation dans la zone du point d'entrée des tubes de force de Pickering-B
 - l'analyse du processus décisionnel tenant compte du risque pour évaluer la sûreté de l'exploitation en présence de défauts induits par l'exploitation dans la zone du point d'entrée des tubes de force de Bruce
- Prise en compte de l'intervalle d'exposition au risque pour la durée prévue du programme de recherche

* Critères de vérification de la conformité

CVC de rechange associés à la CP 6.2 (2/2)

Le 31 décembre 2025 :

- Les approches provisoires de vérification de la conformité relatives à l'exploitation sûre des tubes de force ont expiré
- L'évaluation du risque effectuée par le personnel de la CCSN ont expiré
- OPG et Bruce Power doit revenir à l'évaluation de l'aptitude au service des tubes de force en utilisant le CVC dans la CP 6.1

État des activités de R-D

Réunion de la Commission

24 mars 2026

CMD 26-M10.A

Interventions du personnel de la CCSN

Par le biais de mesures de suivi, le personnel de la CCSN a demandé à OPG et à Bruce Power de faire ce qui suit :

- achever toutes les activités décrites dans les plans de R-D
- donner suite à tous les commentaires découlant des examens par le personnel de la CCSN des activités de R-D
- présenter des rapports d'étape semestriels
- donner suite aux commentaires formulés dans les interventions du public

État des activités de R-D visant le Heq

Le personnel de la CCSN confirme ce qui suit :

- toutes les activités de R-D dont les dates d'achèvement étaient prévues avant la fin de 2025 ont bien été terminées
- une seule activité demeure en cours, soit l'élaboration d'un modèle définitif et exhaustif de concentrations de Heq d'ici le printemps 2026
 - des mesures de suivi visant l'achèvement du plan de R-D demeureront ouvertes jusqu'à l'achèvement de cette activité

Examen par le personnel de la CCSN des livrables du programme de R-D

Réunion de la Commission

24 mars 2026

CMD 26-M10.A

Modélisation de la concentration de Heq

Le modèle de concentration de Heq **prédit le mouvement de l'hydrogène** dans les matériaux

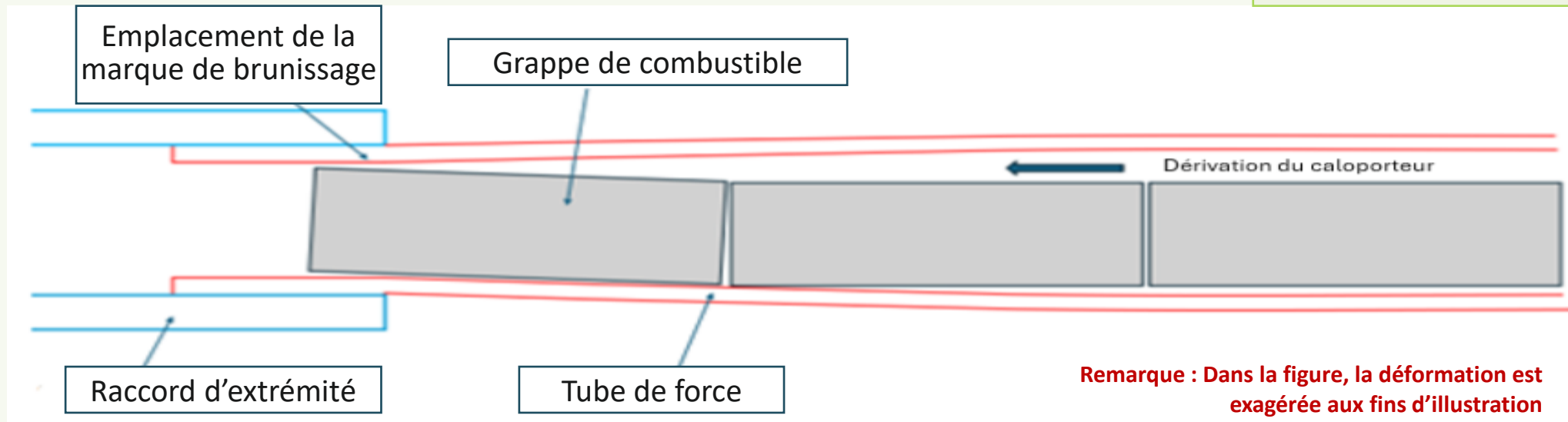
L'hydrogène soluble **se diffuse dans les zones plus froides**

Les résultats du programme de R-D confirment que les sources de pénétration établies représentent une quantité d'hydrogène suffisante pour produire des zones de concentration élevée de Heq près des marques de brunissage

Modélisation de la concentration de Heq au joint dudgeonné au point de sortie

- Le fluage thermique et le fluage induit par irradiation **accroissent l'écart** entre la partie supérieure des grappes de combustible et celle du tube de force, ce qui permet une dérivation du caloporteur
- Le **gradient circonférentiel de température peut varier de 20 °C** près du joint dudgeonné au point de sortie en raison de la dérivation du caloporteur au-dessus des grappes de combustible
- Les résultats du programme de R-D montrent que la concentration élevée de Heq près du joint dudgeonné au point de sortie peut **s'expliquer par la variation du gradient de température due à la dérivation de l'écoulement**

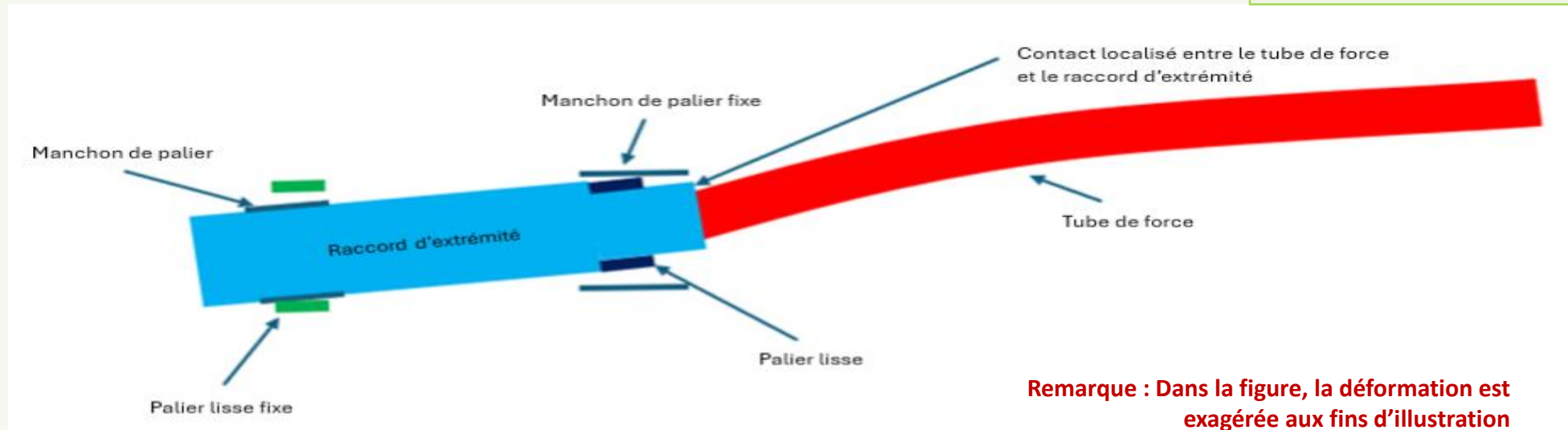
Source de l'image :
Personnel de la CCSN



Modélisation de la concentration de Heq au joint dudgeonné au point d'entrée

- Les matériaux du tube de force peuvent entrer en contact localisé avec le raccord d'extrémité près de la marque de brunissage en raison de la flexion
- Cela crée un point froid localisé sur la surface extérieure du tube de force en raison d'une voie de conductance thermique
- Les résultats du programme de R-D démontrent que la redistribution localisée de l'hydrogène au point froid forme un « blip » de Heq

Source de l'image :
Personnel de la CCSN



Modèles d'évaluation des défauts

Les essais des matériaux ont indiqué ce qui suit :

- modification requise au modèle de ténacité à la rupture visant les matériaux de l'extrémité avant d'un tube de force
- modification requise au modèle d'amorçage des fissures en cas de fissuration par hydruration retardée visant les matériaux présentant une concentration élevée de Heq
- aucune modification requise aux modèles d'amorçage des fissures pour la surcharge localisée d'hydrures et l'amorçage de fissures par fatigue visant les matériaux présentant une concentration élevée de Heq
- aucune modification requise au modèle de taux de croissance des fissures par hydruration retardée visant les matériaux présentant une concentration élevée de Heq

Vérification de la conformité à la CP 6.1 – OPG

Le programme de R-D a démontré que la vérification de la conformité à la CP 6.1 peut servir à évaluer l'aptitude fonctionnelle des tubes de force des tranches 5-8 de Pickering dans les zones de concentration élevée de Heq près des points d'entrée et de sortie :

- les bouchons écran à chaque extrémité des tubes de force couvrent les zones en question
- l'analyse limitative indique que les deux zones ne s'étendront pas aux emplacements susceptibles de présenter des défauts avant la mise à l'arrêt des tranches d'ici la fin de 2026

Vérification de la conformité à la CP 6.1 – Bruce Power

Le programme de R-D a démontré que la vérification de la conformité à la CP 6.1 peut servir à évaluer l'aptitude fonctionnelle des tubes de force de Bruce-A et Bruce-B dans les zones de concentration élevée de Heq :

- l'analyse limitative démontre que la zone du point de sortie ne s'étendra pas aux emplacements susceptibles de présenter des défauts
- il est possible que des défauts soient présents dans la même étendue axiale que celle du point d'entrée :
 - les défauts induits par l'exploitation ne sont présents que sur la surface intérieure
 - il a été démontré qu'une concentration élevée de Heq sur la surface extérieure d'un tube de force n'a aucun effet négatif sur un défaut présent sur la surface intérieure

Vérification de la conformité à la CP 6.1 – À venir

Les tranches de Pickering-B devraient être mises à l'arrêt aux fins de réfection d'ici la fin de 2026

- les résultats du programme de R-D n'ont aucune incidence sur les évaluations actuelles de l'aptitude fonctionnelle des tubes de force en ce qui concerne les défauts

Trois tranches de Bruce-B demeurent en exploitation prolongée

- la tranche 5 devrait être mise à l'arrêt aux fins de réfection en 2026, la tranche 7, en 2028, et la tranche 8, en 2030
- aucune incidence sur les évaluations de l'aptitude fonctionnelle n'est prévue pour la tranche 5 avant sa mise à l'arrêt
- les tubes de force des tranches 7 et 8 devront faire l'objet d'autres évaluations des défauts afin de démontrer leur aptitude fonctionnelle jusqu'à la mise à l'arrêt proposée

Poursuite des activités de R-D sur la concentration élevée de Heq

Les titulaires de permis ont l'intention de poursuivre les activités de R-D :

- Amélioration approfondie des modèles de Heq
- les activités viseront probablement l'atténuation de la prudence excessive des outils analytiques
- les activités seront intégrées aux activités de R-D existantes visant les canaux de combustible
- le personnel de la CCSN évaluera les résultats des activités continues de R-D

Mise à jour des CVC associés à la CP 6.2

- Les exigences renforcées en matière d'aptitude fonctionnelle des canaux de combustible en exploitation prolongée demeurent bénéfiques
- L'objectif des CVC passera de l'évaluation de l'intégrité des tubes de force à des activités renforcées de surveillance de la concentration de Heq
 - les évaluations de l'intégrité seront effectuées conformément aux CVC associés à la CP 6.1

Conclusions

- Les titulaires de permis ont terminé toutes les activités de R-D dont l'achèvement était prévu avant la fin de 2025
- Les titulaires de permis ont démontré qu'ils disposent d'un ensemble approprié d'outils analytiques pour effectuer les évaluations requises aux termes de la CP 6.1
- Les titulaires de permis poursuivront les activités de R-D sur divers sujets liés aux concentrations élevées de Heq
- Les CVC associés à la CP 6.2 seront révisés afin de refléter les exigences actualisées d'un programme amélioré d'aptitude fonctionnelle visant les canaux de combustible en exploitation prolongée
- Le personnel de la CCSN continuera d'évaluer les programmes d'aptitude fonctionnelle des tubes de force des titulaires de permis par rapport au CVC associés aux CP 6.1 et 6.2
- Le personnel de la CCSN demande à la Commission d'envisager de clore la mesure visant à fournir des mises à jour régulières sur les activités de R-D liées à l'Heq élevé dans les rapports d'étape sur les centrales nucléaires

Merci !

Restez branchés !



suretenucleaire.gc.ca