

**PARLEMENT BELGE**

**Sous-Commission  
SECURITE NUCLEAIRE  
25 /02/2015**

**AUDITION PUBLIQUE ELECTRABEL**

**QUESTIONS  
PARLEMENTAIRES  
COMPLEMENTAIRES**

**REPONSES ELECTRABEL  
31/03/2015**

**BELGISCHE PARLEMENT**

**Subcommissie  
NUCLEAIRE VEILIGHEID  
25 /02/2015**

**HOORZITTING ELECTRABEL**

**COMPLEMENTAIRE  
PARLEMENTAIRE  
VRAGEN**

**ANTWOORDEN ELECTRABEL  
31/03/2015**

## INTRODUCTION

Depuis la découverte des indications dues à l'hydrogène lors de l'inspection des cuves de Doel 3 et de Tihange 2 en 2012, un travail colossal a été fourni par les scientifiques, parmi lesquels de nombreux laboratoires et experts belges et internationaux.

Les premiers Safety Cases et leurs Addenda, publiés en décembre 2012 et avril 2013, ont documenté l'ensemble de ce travail et les résultats obtenus, en support à la justification de redémarrage. Les principaux résultats qui y sont détaillés sont les suivants :

- Un consensus scientifique existe pour conclure que les indications relevées correspondent à des Défauts Dus à l'Hydrogène (DDH) qui se sont formés pendant la fabrication des pièces forgées il y a 40 ans. Les DDH sont liés à un phénomène métallurgique et leur apparition n'est pas liée à l'activité nucléaire.
- L'analyse des mécanismes possibles d'évolution en service a conclu à la non évolution de ces défauts : ceci a été confirmé par les inspections successives réalisées en 2012, 2013 et 2014.
- Les Défauts Dus à l'Hydrogène ont une orientation quasi-laminaire, c'est-à-dire qu'ils sont parallèles à la paroi interne de la cuve, avec une inclinaison possible de maximum 15°. Ces défauts sont par conséquent peu sollicités par les contraintes présentes dans la cuve.
- Les nombreux essais réalisés sur un matériau affecté par des DDH, ont démontré que le matériau des zones concernées était peu affecté par la présence des DDH.

Lors du redémarrage des centrales en 2013, l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire a demandé à Electrabel de réaliser plusieurs actions de suivi. Ces actions portent principalement sur la qualification formelle de la technique d'inspection par ultrasons et la détermination des propriétés mécaniques du matériau des cuves à l'état irradié, sur base d'essais sur matériaux contenant des DDH. C'est dans le cadre de ce programme et suite à des résultats d'essais mécaniques non conformes aux prévisions que, par mesure de précaution, Electrabel a décidé d'initiative en mars 2014 de mettre à l'arrêt les deux réacteurs de Doel 3 et Tihange 2. Le programme d'essai a dès lors été considérablement étendu pour permettre de comprendre les résultats non attendus de mars 2014. Plus de 500 tests ont à ce jour été réalisés par la centaine de personnes qui travaillent sur le sujet.

Electrabel a finalisé la qualification de la méthode d'inspection par ultrasons. Une quatrième campagne d'irradiation a été réalisée en février 2015 et le dépouillement des essais se finalise. La consolidation de l'ensemble des résultats du programme d'expertise et d'essais est en phase finale, de même que la formulation des réponses aux recommandations et suggestions.

Electrabel rappelle que les travaux sont toujours en cours et qu'il n'est dès lors pas possible à ce stade de tirer l'une ou l'autre conclusion.

En avril, l'AFCN réunira son groupe d'experts internationaux afin d'examiner les résultats du programme d'essais et expertises menés par Electrabel et les réponses données aux recommandations et suggestions de l'Agence. Sur base de leurs conclusions, Electrabel finalisera et introduira son rapport de conclusion appelé « Safety Case » auprès de l'AFCN. Electrabel communiquera en toute transparence sur le dossier finalisé.

La décision de redémarrage est du ressort de l'AFCN.

## INLEIDING

Sinds het ontdekken van de waterstofinsluitsels tijdens de inspectie van de reactorvaten van Doel 3 en Tihange 2 in 2012, werd een enorm werk verricht door verschillende wetenschappers en eveneens door tal van Belgische en internationale laboratoria en experts.

De eerste veiligheidsrapporten en hun bijlagen, die in december 2012 en april 2013 werden gepubliceerd, hebben al het werk en de verkregen resultaten gedocumenteerd en dienden ter ondersteuning om de heropstart te rechtvaardigen. De belangrijkste resultaten worden hieronder gedetailleerd opgesomd:

- Er bestaat een wetenschappelijke consensus dat de waargenomen indicaties waterstofinsluitsels zijn, die 40 jaar geleden werden gevormd tijdens het smeden van de kuipringen. De waterstofinsluitsels zijn een metallurgisch fenomeen en de verschijning is niet gelinkt aan de nucleaire activiteit.
- De analyse van de mechanismen die mogelijk een evolutie tot gevolg kunnen hebben als de centrale in werking is, heeft aangetoond dat deze indicaties niet evolueren: dit werd bevestigd door de opeenvolgende inspecties in 2012, 2013 en 2014.
- De waterstofinsluitsels hebben een bijna laminaire oriëntatie, dit wil zeggen dat ze parallel lopen met de binnenwand van de kuip, met een mogelijke maximale hellingsgraad van 15°. Deze indicaties zijn daarom in slechts heel beperkte mate onderhevig aan de spanningen in het reactorvat.
- De vele tests die uitgevoerd werden op materiaal met waterstofinsluitsels, hebben aangetoond dat het materiaal van de betrokken zones zeer beperkt beïnvloed wordt door de aanwezigheid van de waterstofinsluitsels.

Bij de opstart van de centrales in 2013 heeft het FANC Electrabel gevraagd om verschillende opvolgingsacties uit te voeren. Deze acties omvatten voornamelijk de formele kwalificatie van de ultrasone inspectietechniek en de bepaling van de mechanische eigenschappen van het kuipmateriaal in bestraalde toestand op basis van testen op materiaal met waterstofinsluitsels. Het is in het kader van dit programma en het feit dat de mechanische test niet conform was aan de verwachtingen, dat Electrabel uit voorzorg in maart 2014 beslist heeft om beide centrales Doel 3 en Tihange 2 stil te leggen. Het testprogramma werd sindsdien aanzienlijk uitgebreid om deze onverwachte resultaten van maart 2014 beter te begrijpen. Meer dan 500 testen werden uitgevoerd door meer dan 100 personen die aan dit dossier meewerken.

Electrabel heeft de kwalificatie van de ultrasone inspectiemethode voltooid. Een vierde bestralingscampagne werd uitgevoerd in februari 2015 en de nauwkeurige analyse van de testen loopt stilaan ten einde. De consolidatie van alle resultaten van het expertise- en testprogramma zit in de laatste fase, net als het formuleren van de antwoorden op de aanbevelingen en suggesties.

Electrabel herinnert eraan dat de werken nog steeds bezig zijn en dat het bijgevolg niet mogelijk is om in dit stadium de één of andere conclusie te trekken.

In april organiseert het FANC een nieuwe bijeenkomst met haar groep van internationale experts. Deze zal de resultaten van het door Electrabel uitgevoerde expertise- en testprogramma, en de antwoorden op de aanbevelingen en suggesties van het FANC analyseren. Electrabel zal op basis van hun conclusies haar eindrapport, ook "Safety Case" genoemd, finaliseren en indienen bij het FANC. Electrabel zal in alle transparantie communiceren over het finale dossier.

De beslissing over de heropstart ligt in handen van het FANC.

### NVA

1. In welke mate vindt radiolyse van het water in het primaire systeem plaats in de reactoren Doel 3 en Tihange 2 ? Welke hoeveelheden waterstofatomen zijn te verwachten in een normale operatie van de reactor?

De radiolyse van het water is geen bron van atomaire waterstof, aangezien waterstofradicalen en protonen een zeer korte levensduur hebben. De hoeveelheid waterstof in het primaire water is afkomstig van de conditionering (H<sub>2</sub> om de radiolyse te onderdrukken) en bedraagt typisch 3ppm.

2. Er zijn ultrasone tests gebeurd is 2012 en 2014, kan u schetsen hoe lang de reactor heeft gewerkt tussen de 2 tests, uitgedrukt in uren?

7008 uren voor Tihange2,  
7053 uren voor Doel 3.

3. De oplosbaarheid van waterstof is gelinkt aan de temperatuur van de omgeving. Op welke bedrijfstemperatuur is het staal van de kuipen van doel 3 en Tihange 2 bij vol vermogen? Wat is de oplosbaarheid van waterstof bij deze temperatuur?

Ongeveer 280°C. Bij temperaturen <400°C speelt de hoeveelheid waterstofvallen die aanwezig zijn in het staal een grotere rol dan de eigenlijke temperatuur bij het bepalen van de oplosbaarheid van waterstof in het staal. Een typische grootteorde voor een staal is enkele ppm.

4. Er werd eerder gesteld dat de vastgestelde flakes geen volume hebben, kan dit worden gestaafd door de ultrasone tests? Kan u bevestigen dan het volume inderdaad 0 bedraagt en wat is hierbij de foutenmarge?

Het kan niet vastgesteld worden door UT, maar het werd vastgesteld door destructief onderzoek van ongeveer 90 defecten uit VB395.

5. Hydrogen blistering werd uitgesloten als oorzaak, op basis van welke vaststellingen werd dit uitgesloten?

Op basis van een combinatie van gedetailleerd literatuuronderzoek, discussies met experts op het gebied van waterstof in staal, waterstofmetingen en thermodynamische berekeningen en simulaties. De berekende maximale H<sub>2</sub> ophoping is te klein om blistering te kunnen veroorzaken.

6. Eventuele radiolyse van water uit het primaire circuit zal (wellicht minimale) gevolgen hebben voor de hoeveelheid koelwater in dat primaire circuit. Zijn hiervoor bewijzen te vinden tijdens de operatie? In welke mate wordt de hoeveelheid koelwater geïmpacted door andere factoren dan radiolyse? In welke mate kan het effect van deze andere effecten worden gequantificeerd? In welke mate wordt het koelwater beïnvloed door deze radiolyse?

Door toevoeging van H<sub>2</sub> worden de radicalen terug omgezet naar water, zodat er geen verlies ten gevolge van radiolyse optreedt. Er is een drukregelvat om het niveau op peil te houden en water kan via de ladingslijn bijgepompt worden. Operations controleert de volumes.

## **PS**

**1.** Quels sont les éléments qui permettent à Electrabel d'affirmer dans sa présentation du 25 février 2015 que les inclusions d'hydrogènes se sont formées lors de la fabrication des cuves et qu'elles n'ont pas évolué depuis lors ?

Comme on peut le lire dans le Safety Case initial établi par Electrabel, il y a un consensus scientifique sur le fait que les inclusions d'hydrogènes se sont formées lors de la fabrication des pièces forgées. Les inclusions rapportées en grand nombre en 2012 dans les cuves de Doel 3 et de Tihange 2 ne furent cependant pas rapportées en fabrication, mais les pièces furent déclarées conformes au code de construction après exécution des contrôles réglementaires.

Le caractère non évolutif de ces indications a été démontré dans le Safety Case initial et il a été confirmé par les inspections successives réalisées en 2012, 2013 et 2014.

**2.** Le 27 février dernier, les journaux De Tijd et l'Echo indiquaient que l'eau de refroidissement des réacteurs de Doel 3 et Tihange 2 serait préchauffée à 40°C. Pouvez-vous détailler les raisons qui justifient cet investissement ?

Electrabel a pris en compte dans son étude tous les transitoires pouvant affecter la zone de la paroi de la cuve où se situent les défauts. Il en ressort que le transitoire d'injection de sécurité est le plus sévère jusqu'à 20 mm de profondeur dans la paroi (mesurés à partir de l'interface entre le cladding et le métal de base, côté paroi interne). Au-delà de 20mm, c'est un autre transitoire qui est pénalisant.

Le réchauffage de l'eau des réservoirs d'injection de sécurité a pour conséquence de réduire la sévérité du transitoire d'injection, mais essentiellement pour les défauts situés dans les 20 premiers millimètres. Au-delà de 20mm, la modification de la température n'a plus d'effet.

L'eau des réservoirs d'injection de sécurité est réchauffée à Doel 3, pas à Tihange 2.

Les défauts de Tihange 2 sont essentiellement situés au-delà de 20 mm de profondeur. Comme expliqué plus haut, l'effet du réchauffage disparaît au-delà de 20mm.

**3.** En sous-commission Sécurité nucléaire, Electrabel a indiqué que les réacteurs de Doel 1 et 2 seraient soumis à la méthode d'inspection et d'analyse « MIS-B » au mois de septembre prochain. Pourquoi attendre plusieurs mois avant de mener ces inspections alors que la prolongation décennale de ces deux réacteurs est actuellement négociée ?

Doel 1 et 2 seront soumises à la méthode MIS-B avant la fin de l'année. L'outil MIS-B doit en effet subir de légères adaptations (auprès d'une filiale de la société AREVA) pour pouvoir inspecter les cuves de Doel 1 et 2. Les pièces nécessaires ont été commandées.

Entretemps, Doel 4 subira l'inspection au moment de sa révision décennale, à partir de fin septembre.

**4.** A quelle date le rapport final contenant l'ensemble des analyses relatives à Tihange 2 et Doel 3 sera déposé auprès de l'AFCN ?

Lorsque l'intégralité des requêtes de l'AFCN aura été adressée, Electrabel remettra son rapport à l'Agence, normalement dans le courant du mois de mai. C'est l'AFCN qui statuera ensuite sur le redémarrage des réacteurs.

## ECOLO

### Thème N°1 : Questions relatives aux essais de ténacité

*Vous avez réalisé des tests sur la virole VB-395. Le 25 mars 2014, vous avertissez l'AFCN de résultats préliminaires inattendus d'un des tests menés sur les pièces irradiées. Les résultats obtenus font en effet état d'une évolution beaucoup plus forte de la valeur de la température caractéristique de la ténacité du matériau que celle prédite sur base des modèles théoriques. Autrement dit, le test réalisé aurait révélé un glissement dans la température à laquelle l'acier passerait de l'état ductile (capacité à se déformer sans se rompre) à l'état fragile. Encore en d'autres termes, l'expérimentation pratique montre que la probabilité de rupture de la paroi de la cuve en cas de chute significative de la température dans la cuve (en cas d'accident grave par exemple) est plus élevée que ce que prédisait les modèles théoriques.*

1. A quelle température l'acier passe théoriquement de l'état ductile à l'état fragile pour une centrale de 40 ans ?

Il faut d'abord préciser que la transition fragile-ductile de l'acier de cuve se produit progressivement dans un domaine de plusieurs dizaines de °C. On définit une température conventionnelle pour caractériser cette transition (la  $RT_{NDT}$ ). Il n'y a pas de valeur « théorique », la valeur dépendant des propriétés à l'état initial et de la variation sous irradiation, qui dépend principalement de la composition chimique de l'acier. Il y a des formules empiriques de prédiction, dont on vérifie le conservatisme par le programme de surveillance des cuves.

2. A quelle température l'acier est-il passé dans l'expérience menée de l'état ductile à l'état fragile ?

Cette information fait partie des réponses à l'AFCN pour lesquelles un nouveau rapport (Safety Case) est en cours d'élaboration.

3. Quelle est l'ampleur précise de l'écart relevé par rapport à cette norme théorique ? Merci de donner tous les éléments chiffrés en °C et en %.

Cette information fait partie des réponses à l'AFCN pour lesquelles un nouveau rapport (Safety Case) est en cours d'élaboration.

*Différentes analyses ont été effectuées après la 1ère campagne de relevé. Et une seconde campagne de test a été initiée en avril 2014. Cette deuxième campagne a confirmé le comportement inattendu des matériaux.*

4. Pouvez-vous nous donner le contenu de ces différentes analyses et les résultats chiffrés de ces 2 campagnes ?

Cette information fait partie des réponses à l'AFCN pour lesquelles un nouveau rapport (Safety Case) est en cours d'élaboration.

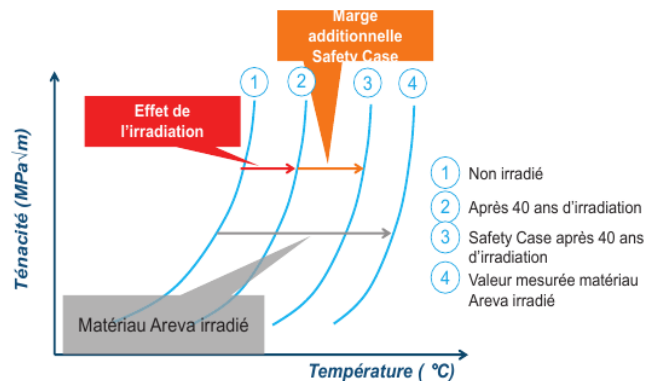


5. Comment expliquez-vous l'écart entre ce qui était « théoriquement » attendu par les tests et les résultats réels récoltés ?

Cette information fait partie des réponses à l'AFCN pour lesquelles un nouveau rapport (Safety Case) est en cours d'élaboration.

6. Pouvez-vous préciser l'échelle et indiquer les repères chiffrés sur les 2 axes du graphique ci-dessous (graphique que vous avez présenté en son temps en sous-commission sécurité nucléaire) ?

Ce graphique exemplatif présente simplement le principe général. En réalité dans les cuves chaque point de la cuve est irradié à une dose différente en fonction de sa position dans les trois directions (verticale, circonférentielle et dans l'épaisseur) et les décalages illustrés sur le graphique sont différents en chaque point. Cela est pris en compte dans les analyses.



Le rapport de la sous-commission reprend ceci : « M. Wim De Clercq (Electrabel) répond qu'il existe une température de référence qui donne une image de la ténacité. Cette température de référence est la température à laquelle le métal passe de l'état ductile à fragile. Cette température augmente de 10 degrés. Les tests ont été menés sur le matériau VB-395 avec une marge allant jusqu'à 50 degrés et on constate que les résultats sont encore plus élevés. Soumis à une irradiation, le métal se fragilise. »

7. Pouvez-vous d'une part donner une explication plus pédagogique de cet extrait et d'autre part donner les valeurs précises qui ont été mesurées et celles qui étaient attendues en théorie (avec et sans la marge de sécurité) ?

Voir réponses aux questions 1 et 2. Comme expliqué la transition ne se fait pas de manière brutale mais progressive. Des températures de référence sont définies de manière conventionnelle dans les réglementations pour suivre cet effet. En outre différentes propriétés mécaniques du matériau sont affectées de manière différente par l'irradiation. Certaines ont évolué de la manière attendue, d'autres de manière supérieure aux prédictions.

Vous avez depuis lors effectué d'autres analyses et d'autres campagnes de test sur cette même virole.

**8.** Pouvez-vous nous en donner les résultats (avec quand cela est possible le rappel du résultat qui était attendu eu égard à la théorie et/ou la littérature) ?

Comme indiqué plus haut l'interprétation ne se limite pas à comparer une température de référence à une prédiction mais est nettement plus complexe et fait appel à différents types de propriétés. Cette information fait partie des réponses à l'AFCN pour lesquelles un nouveau rapport (Safety Case) est en cours d'élaboration.

*Des tests sur des échantillons sans défauts DDH auraient également révélé une fragilité plus grande qu'attendue.*

**9.** Pouvez-vous confirmer et en préciser les données et résultats ?

Cette information fait partie des réponses à l'AFCN pour lesquelles un nouveau rapport (Safety Case) est en cours d'élaboration.

**10.** Les expérimentations sur la virole se déroulent-elles en milieu aqueux ?

Oui : les éprouvettes sont placées dans une boucle sous pression et sous eau simulant l'environnement d'un réacteur.

**11.** Les tests effectués ont-ils également travaillé sous hypothèse d'extrapolation d'une période de 50 ans d'irradiation ou se sont-ils limités aux 40 ans maximum définis dans la Loi ?

L'irradiation atteinte dans les tests est légèrement supérieure à la valeur correspondant à 40 ans de fonctionnement du réacteur.

**12.** La recommandation de l'International Expert Review Board (rapport de mai 2013) d'utiliser des analyses de sensibilité de 100°C supplémentaires au lieu des 50°C que vous utilisiez afin de couvrir notamment d'éventuels effets de la ségrégation des impuretés chimiques a-t-elle pas été suivie ?

Cette recommandation n'a pas été reprise par l'AFCN dans les recommandations adressées à EBL.

**13.** Comment décomposiez-vous à l'époque cette valeur de 50°C ? Quelle est la part consacrée à couvrir la réduction de ténacité résultant de la présence de DDH, quelle est la part consacrée à couvrir la fragilisation par ségrégation macroscopique, quelle est la part consacrée pour couvrir l'incertitude liée à l'effet des radiations sur les DDH ?

Voir Safety Case de 2012. Ces marges seront rediscutées dans le nouveau Safety Case.

*Dans votre « safety case report » de décembre 2012, vous utilisez comme frontière pour le RTndt la*

température de 132°C.

**14.** Pouvez-vous nous dire d'où vient cette valeur et ce qu'elle représente ?

Cette limite provient de la réglementation américaine (10 CFR50.61) suivie en Belgique, et correspond à une valeur de  $RT_{NDT}$  en dessous de laquelle il n'y a aucun risque de rupture de cuve en cas de choc thermique pressurisé (PTS : Pressurised Thermal Shock). Il ne s'agit pas d'une limite absolue mais au-delà de cette valeur des études particulières sont requises.

*Des tests sont maintenant effectués sur un bloc KS02 provenant d'Allemagne. Des données historiques existent pour ce matériau.*

**15.** Quelles sont ces données ?

Le composant KS 02 a fait l'objet de multiples essais effectués dans le cadre d'un programme de recherche étendu sur des grosses pièces forgées, mené en Allemagne dans les années 1980. Les recherches étaient concentrées sur les effets de la présence de zones ségréguées sur les propriétés mécaniques. A cette fin, plusieurs types d'essais ont été effectués sur des éprouvettes provenant des zones non-ségréguées et ségréguées du composant KS 02. Les résultats d'essais montrent qu'une zone ségréguée se comporte de la même façon qu'une zone non-ségréguée sous l'effet de l'irradiation.

**16.** Quel modèle numérique avez-vous et allez-vous utiliser pour calculer la ténacité ?

La détermination de la ténacité d'un matériau ne fait pas appel à un modèle numérique. Elle est déterminée à partir des résultats d'essais de ténacité en suivant le standard ASTM E1921 'Master Curve'. L'application de ce standard mène à la température de référence  $T_0$  qui caractérise la position de la courbe de ténacité dans le domaine de température.

**17.** Comment avez-vous et allez-vous valider ce modèle ? DDH ?

Il n'y a pas de validation à faire puisqu'on ne s'appuie pas sur l'un ou l'autre modèle numérique (voir réponse à la question 16). Le standard ASTM E1921 est par définition validé. La présence ou non de DDH dans le matériau ne remet pas en cause l'application du standard. Les essais et le standard permettent de déterminer la ténacité du matériau, affecté ou non par des flakes.

**18.** Ce modèle est-il validé pour quelques DDH ou pour une « galaxie » de DDH ?

Voir réponse à la question précédente.

*Dans une annexe à un courrier que l'ASN envoyait en 2012 à BelV on peut lire que « Electrabel a indiqué que des essais réalisés par le passé en Allemagne sur des échantillons de fabrication dans*

*un matériau similaire présentant des défauts semblables à ceux détectés à Doel 3 ont montré une perte de ductilité très importante (...) ».*

**19.** De quels essais parle-t-on ?

Il s'agit des essais de traction effectués sur des éprouvettes de très grande taille (diamètre 400mm) contenant des DDH. Les éprouvettes proviennent du composant allemand libellé KS 04 contenant des milliers de DDH.

**20.** Quels sont les résultats chiffrés de ces essais, notamment en termes de perte de ductilité ?

Les essais ont montré tout d'abord que, malgré la présence de DDH dans les éprouvettes, la limite de rupture n'était pas significativement affectée par la présence des DDH. Par contre, on a observé une perte de ductilité significative. Ce comportement n'est pas étonnant tenant compte du fait que l'axe de l'éprouvette de traction était perpendiculaire par rapport au plan des DDH. La façon dont la matière autour des DDH était sollicitée dans l'essai de traction n'est donc pas représentative des sollicitations potentielles des DDH dans les cuves de réacteur de Doel 3 et Tihange 2, où ces défauts sont parallèles à la direction des contraintes.

Dans le cadre du Safety Case initial, des essais de traction ont été effectués sur des éprouvettes de grande taille et contenant des DDH. Cette fois ci, l'orientation des DDH par rapport à l'axe de l'éprouvette était représentative de la situation dans les cuves. Les essais ont montré que la limite de rupture et la ductilité du matériau ne sont que peu affectées par la présence des DDH.

**21.** Le BR2 permet en 3 mois de simuler une irradiation de 40 années. Mais quelle garantie avez-vous qu'il permet de tester la propagation d'hydrogène sur la même période ?

Ce n'est pas l'objectif de ces essais. La problématique de propagation est traitée par ailleurs.

## Thème n°2 : Questions relatives à la température de l'eau des réservoirs de sécurité

Electrabel a pris en compte dans son étude tous les transitoires pouvant affecter la zone de la paroi de la cuve où se situent les défauts. Il en ressort que le transitoire d'injection de sécurité est le plus sévère jusqu'à 20 mm de profondeur dans la paroi (mesurés à partir de l'interface entre le cladding et le métal de base, côté paroi interne). Au-delà de 20mm, c'est un autre transitoire qui est pénalisant.

Le réchauffage de l'eau des réservoirs d'injection de sécurité a pour conséquence de réduire la sévérité du transitoire d'injection, mais essentiellement pour les défauts situés dans les 20 premiers millimètres. Au-delà de 20mm, la modification de la température n'a plus d'effet.

**22.** Comment justifiez-vous avoir utilisé une différence de température de l'eau de refroidissement entre Doel 3 et Tihange 2 ?

L'eau des réservoirs d'injection de sécurité est réchauffée à Doel 3, pas à Tihange 2.

**23.** Que signifie la phrase du Ministre Jambon dans sa réponse au parlement : « *Cette mesure ne se justifie pas à Tihange car le gradient de température vu par les défauts est moins important car les défauts se trouvent à une profondeur plus importante que dans la cuve de Doel 3.* » ?

Les défauts de Tihange 2 sont essentiellement situés au-delà de 20 mm de profondeur. Comme expliqué plus haut, l'effet du réchauffage disparaît au-delà de 20mm.

**24.** Qu'est-ce que le gradient de température? Quelle est sa valeur à Doel 3 ? Quelle est sa valeur à Tihange 2 ?

Le gradient de température est la variation de cette température en fonction de la profondeur. Il varie constamment durant un transitoire et est fonction de l'écart entre la température initiale de la paroi et la température de l'eau en paroi interne de la cuve.

**25.** En quoi la profondeur a-t-elle une influence en la matière ? Est-ce la profondeur de la cuve ou la profondeur de la paroi qui est ici visée ?

Voir réponses précédentes.

**26.** Où sont publiées les données de situation des fissures dans la profondeur de la paroi pour Tihange 2 ? (celles pour Doel 3 sont publiées dans le rapport de décembre 2012)

Les données de Tihange 2 sont publiées dans le Safety Case correspondant.

**27.** Selon le journal l'Echo du 27 février, vous vous préparez à investir pour préchauffer l'eau de refroidissement à plus de 40°C. Qu'en est-il exactement ?

Electrabel a pris la décision de préchauffer l'eau des réservoirs d'injection de sécurité de Doel 3, à une température comprise entre 40 et 50°C. Cette modification est terminée.

**28.** Quelles sont les raisons et données sous-jacentes qui vous ont poussé à augmenter encore cette température par rapport aux 30°C antérieurs ?

Le préchauffage à 30°C était une mesure volontaire et limitée à certains réservoirs, non prise en compte dans les études. Le préchauffage à 40°C réalisé depuis est structurel.

**29.** Pourquoi cette fois la centrale de Tihange 2 est-elle également concernée par votre projet de réchauffement de l'eau alors que dans un passé encore récent vous justifiiez qu'une telle mesure n'était pas nécessaire sur Tihange ? Quelles récentes données expérimentales vous conduisent-elles à devoir envisager cette mesure sur Tihange ?

La centrale de Tihange 2 n'est pas concernée par cette modification.

**30.** Quelle est la limite des spécifications techniques en la matière ? Jusqu'à quelle température peut-on monter ainsi ?

La température maximale autorisée par les spécifications techniques est de 50°C.

**31.** Quel est le coût d'investissement et de fonctionnement (annuel) de ce maintien à 30°C et à 40°C ?

Il se chiffre à environ 2 millions d'euros.

**Thème N°3 : Localisation des fissures (merci de donner séparément les réponses pour Doel 3 et Tihange 2)**

**32.** Pouvez-vous nous décrire le plus complètement possible la localisation des fissures dans la profondeur de la paroi ?

Cette information fait partie des réponses à l'AFCN pour lesquelles un nouveau rapport (Safety Case) est en cours d'élaboration.

**33.** Comment se répartit la concentration des fissures relevées dans une profondeur comprise entre 5 et 150 mm ?

Cette information fait partie des réponses à l'AFCN pour lesquelles un nouveau rapport (Safety Case) est en cours d'élaboration.

**34.** Comment expliquer que les défauts n'apparaissent pas entre 0 et 5mm et au-delà de 150mm ?

La gamme de profondeur 0-5 mm est comprise dans l'épaisseur du revêtement austénitique. Par ailleurs, des flakes ne peuvent se former que dans une zone macro-ségrégée, laquelle, par suite du processus de fabrication, n'atteint pas la paroi externe.

**35.** Quel est le degré de corrélation entre la taille des fissures et la proximité de la paroi intérieure de la cuve ?

Il n'y a pas de corrélation entre taille des indications et proximité de la paroi, mais les plus grandes indications (qui correspondent en fait à des indications proches les unes des autres et qui ont été regroupées par conservatisme pour être considérées comme un seul défaut) sont situées plus en profondeur.

**36.** Quel est le degré de corrélation entre la concentration des fissures et la proximité de la paroi intérieure ?

Il n'y a aucune corrélation entre concentration et proximité de la paroi intérieure.

**37.** Quelle est la concentration maximale des fissures ?

**38.** La concentration des fissures est-elle toujours de 40 failles dans un dm<sup>3</sup> de la paroi de Doel 3, comme indiqué dans le "final report on flaws" décembre 2012 ?

**39.** Quelle est la densité des défauts ? (valeur moyenne, valeur médiane, valeur maximale, écart type) ?

La densité maximale relevée est de 32,4 indications/litre.

La densité moyenne est comprise entre 1,2 et 7,5 indications/litre, selon les viroles.

**40.** Est-ce que des fissures sont détectées dans un même axe en allant de l'intérieur de la cuve vers la périphérie ?

De telles configurations existent effectivement et sont détectable par la MIS-B.

**41.** Est-ce que cette éventualité peut être exclue avec la qualité actuelle des mesures ?

L'éventualité de défauts superposés dans l'épaisseur n'est nullement exclue et est détectable par la MIS-B.

**42.** Quelle est la proportion de fissures qui ne sont pas strictement parallèles à la paroi ?

Les inspections ultrasonores ne donnent pas de mesure directe de l'inclinaison des défauts. Les examens métallurgiques ont montré que l'inclinaison maximale possible était  $< 15^\circ$ .

**43.** Pouvez-vous procéder à une représentation graphique en 3D sous forme de nuage ou de galaxie de la localisation de ces fissures ?

Une telle représentation n'est pas disponible.

**44.** Y a-t-il une différence en termes de fissures aux points d'injection d'eau en cas d'incident entre la situation à Doel 3 et la situation à Tihange 2 ?

Les points d'injection d'eau se trouvent sur les tuyauteries du circuit primaire, en dehors de la cuve. L'eau parvient dans la cuve par les tubulures d'entrée situées dans la virole supérieure « porte-tubulure » de la cuve. Il n'y a pas de corrélation entre ces points d'entrée et la distribution des fissures.



## Thème n°4 : Mesure des fissures

*Le site de l'AFCN explique que « pour évaluer une éventuelle évolution entre 2012 et 2014, Electrabel a appliqué les anciens seuils de détection et la nouvelle procédure d'interprétation aux mesures réalisées en 2014 »*

**45.** Pouvez-vous dès lors nous donner le tableau qui permet de comparer à méthodologie identique (nouvelle procédure de regroupement mais anciens seuils) les situations de 2012, 2013 et 2014 ?

Les comparaisons 2012-2013 et 2012-2014 ont consisté à vérifier que l'amplitude et les dimensions de chaque indication étaient inchangées. Il n'a pas été procédé à d'autres analyses de ces données.

**46.** Outre la moyenne et les valeurs maximales des fissures, quels sont les écart-type et les valeurs médianes pour chaque relevé ?

Les paramètres statistiques demandés ne sont pas pertinents pour le problème posé : la qualification a démontré que les dimensions données par la méthode d'inspection par ultrasons étaient conservatives.

## Thème N°5 : Analyse des fissures

**47.** Comment appréhendez-vous dans vos analyses les interactions entre fissures et le risque de pontages radiaux entre les fissures ? Pouvez-vous garantir l'absence de risque de pontages radiaux ?

Des défauts très proches ne sont pas discernables par l'examen ultrasonore. Ils sont de façon conservatoire rapportés comme une seule indication regroupant ces défauts proches. Cette indication regroupée est traitée comme telle dans la suite de la vérification de la tenue structurelle. En outre, lors des calculs, une évaluation complémentaire de l'interaction potentielle entre les défauts proches est réalisée en faisant usage de calculs poussés.

Un contrôle ultrasonore spécifique a été réalisé avec une méthode appropriée pour mettre en évidence d'éventuels pontages radiaux : il s'est révélé négatif. L'existence de pontages radiaux peut donc être exclue.

**48.** Quel est le degré d'imprécision dans la détermination de la partie radiale des défauts ?

La méthode de dimensionnement des défauts a été validée lors de la qualification.

**49.** Peut-on exclure des défauts partiellement cachés par d'autres défauts ?

Le faisceau ultrasonore se reconstruit progressivement à l'arrière d'un défaut. Par ailleurs, l'impact structurel d'un défaut masqué du fait de sa proximité à l'arrière d'un autre est négligeable.

## Thème N°6 : Relevé des *fissures*

**50.** Quel est le pourcentage de la paroi couverte par le champ de mesure ?

La totalité de la paroi est couverte, à l'exception de 4 zones (par cuve) correspondant au total à 0,8% de la surface soumise à l'inspection. Cette situation a fait l'objet d'une justification spécifique.

**51.** Certaines zones sont-elles inaccessibles à l'analyse ultrason ?

Cf Question 50.

**52.** Les tubulures d'entrée et de sortie ont-elles été analysées en terme de fissures par la technique de l'ultrason ?

Le métal de base de toutes les tubulures d'entrée et de sortie a été contrôlé à Doel 3 et Tihange 2. Aucun défaut n'a été observé.

*L'ASN prétend que les défauts présentant les plus fortes inclinaisons sont ceux qui présentent potentiellement la plus forte nocivité.*

**53.** Quelles sont les inclinaisons maximales relevées, quelles sont les inclinaisons moyennes, quels sont les écarts-types et les inclinaisons médianes ?

Les examens ultrasonores ne donnent pas de mesures directes de l'inclinaison des défauts. Un examen ultrasonore complémentaire a confirmé l'absence de défauts inclinés de plus de 15°.

*BelV a constaté en étudiant des macrographies sur la virole VB 395 que la forme des défauts peut s'éloigner significativement d'un défaut parfaitement plan.*

**54.** Confirmez-vous ce fait ? Quelles sont les données précises en la matière ?

Les défauts possèdent un profil facetté, d'orientation globale quasi-laminaire, qui a été confirmé par des expertises destructives et qui est pris en compte dans la qualification de la MIS-B.

## Thème n°7 Disponibilité des éprouvettes

*Chaque centrale comprend des éprouvettes qui sont utilisées lors des révisions pour surveiller l'évolution du matériau.*

**55.** Que donnent ces sources d'information pour ce qui concerne Doel 3 et Tihange 2 ?

Les éprouvettes de surveillance, prélevées dans les viroles supérieures de cœur Doel 3 et Tihange 2, démontrent un comportement 100% conforme au modèle.

**56.** Le nombre d'éprouvettes a-t-il été dimensionné pour effectuer des relevés pendant 40 ans ou permet-il d'effectuer des relevés pour une plus longue période sans pour autant en réduire le nombre annuel planifié initialement ?

Le planning de retrait des éprouvettes a été revu il y a des années de manière à couvrir plus de 60 ans avec les 4 capsules de surveillance placées en cuve avant le démarrage des unités (pour Doel 3 et Tihange 2). Ces 4 capsules ont été retirées, évaluées et les résultats sont conformes aux prédictions. Deux capsules de réserve ont été introduites pour confirmer l'évolution > 40 ans en cas de prolongation.

## Thème n°8 Défaits sous revêtement (DSR)

57. Quel est le relevé des DSR pour chacune des deux centrales ?

Il n'y a aucun DSR dans la zone de cœur de Doel 3 et Tihange 2.

## Thème n°9 Documents historiques

**58.** Confirmez-vous qu'au moins un des anneaux de Tihange 2 fut refusé au moment de la réception eu égard aux motifs d'un trop grand nombre de défauts ?

Oui, l'anneau de transition a été refusé à cause d'un trop grand nombre de défauts attribués à l'effet de l'hydrogène.

*La documentation détaillée des contrôles faits à l'époque de la construction est disponible sous forme notamment de microfilms.*

**59.** Quelles sont toutes les indications que l'on peut y relever en terme de DSR et de DDH ? (nombre, taille moyenne, taille maximale, localisation [aussi en terme de profondeur dans la paroi], concentration, etc.)

Il n'y a pas de DSR dans les viroles de cœur de Doel 3 et Tihange 2.

Les contrôles par ultrasons pendant la fabrication des forgés ont été faits manuellement. La plupart des défauts détectés pendant les inspections de cuves en 2012, n'ont pas été rapportés à la fabrication, à l'exception de quelques indications. Les rapports de contrôle donnent leur position de façon approximative.

**60.** Que disent à ce propos les documents d'acceptation des centrales ?

Toutes les pièces forgées ont été déclarées conformes au code de construction.

*Appelé à répondre à une question parlementaire le 20 juin 1980 le ministre indiquait à La Chambre que « des indications relatives à des défauts ont été relevées dans une petite surface des tubulures de sortie. Le nombre de défauts constaté par tubulure ne dépasse pas en moyenne le tiers des défauts par tubulure relevés sur les cuves françaises et les dimensions des défauts sont également largement inférieures à celles des défauts relevés sur les cuves françaises ». Cette réponse tend à prouver qu'un décompte précis du nombre de défauts et de leur taille a été effectué.*

**61.** Pouvez-vous nous le donner ?

**62.** Pouvez-vous nous donner copie du PV de la réunion de coordination du 17 juin 1980 qui réunissait fabricant, exploitant, organisme de contrôle et administration ?

**63.** Pouvez-vous nous donner copie du rapport de l'organisme agréé préalable à la mise en service ?

**64.** Pouvez-vous nous donner copie du rapport de l'expert de la Commission des Communautés Européennes préalable à la mise en service ?

Réponse globale aux questions 61 à 64 :

La partie supérieure des cuves de Doel 3 et Tihange 2 a été fabriquée par Framatome. Tout le

cladding a été déposé avec préchauffage, ce qui est plus favorable que dans les cuves françaises ayant eu des problèmes. Seule une petite partie du cladding manuel au niveau des tubulures a été soudé sans préchauffage.

A la suite de ces problèmes détectés sur certaines cuves en France, des contrôles ont été effectués au niveau des tubulures des cuves. Contrôles manuels entre octobre 1979 et octobre 1980 et contrôles en automatique en 1981, avec la machine d'Inspection en Service (MIS) d'intercontrôle, dans le cadre des « Pre-Service-Inspections » (PSI). Ces contrôles ont mis en évidence quelques indications dans certaines tubulures. Il est apparu cependant que la dimension du défaut correspondant était très limitée. En conséquence, la situation a été acceptée en l'état avec l'accord des autorités.

En 1992 et en 1993, un contrôle avec la MIS dans le cadre de la première inspection décennale a eu lieu à Doel 3 et à Tihange 2 pour réexaminer les indications trouvées. Quelques indications ont été analysées mais aucune n'a été retenue comme fissure.

Sur cette base, le dossier a été clôturé avec l'accord de l'AIA qui concluait : « pas d'action complémentaire recommandée ».

*D'aucuns prétendent qu'une des viroles destinées à Doel 3 a été in fine installée à Tihange 2.*

**65.** Confirmez-vous cette hypothèse ? Si oui, de quelle(s) virole(s) s'agit-il ?

Les cuves des réacteurs de Doel 3 et Tihange 2 ont été fabriquées au même moment. Pour différentes raisons, techniques et de respect de planning, la destination finale de certains lingots a été changée. Tous ces lingots étaient identiques.

**66.** Quel traitement par déshydrogénation les cuves ont-elles subi avant leur mise en marche ?

Les composants forgés des cuves de réacteurs de Doel 3 et Tihange 2 n'ont à notre connaissance pas fait l'objet de traitement thermique particulier visant à déshydrogéner les forgés. Ceci n'est pas imposé par les codes et normes, mais fait partie de la pratique industrielle de chaque forgeron.

## Thème n°10 Transparence et information

**67.** Pour nous aider à mieux comprendre la situation, pouvez-vous nous donner copie des protocoles des tests effectués en application de l'action n°11 du plan d'action ?

Cette information fait partie des réponses à l'AFCN pour lesquelles un nouveau rapport (Safety Case) est en cours d'élaboration.



## Thème n°11 Dynamique de corrosion

**68.** Au-delà des études et expérimentations liées à la mécanique des ruptures, avez-vous des études et/ou expérimentations en cours ou réalisées sur le dynamique de corrosion potentiellement à l'œuvre ?

L'influence potentielle de la corrosion a été étudiée dès le début de l'affaire (fin 2012). Comme les défauts se trouvent en cœur de matière, ils ne peuvent pas être corrodés et le taux d'hydrogène qui peut entrer dans le matériau suite à la corrosion est trop faible pour avoir un effet.

## Thème n°12 Calendrier à venir

**69.** A quel moment allez-vous inspecter Doel 4, Doel 2 et Doel 1 ?

La cuve se Doel 4 sera inspectée à l'occasion de sa révision décennale planifiée à partir de septembre 2015. Doel 1 et Doel 2 le seront avant la fin de l'année 2015.

**70.** A quel moment allez-vous remettre les résultats de ces analyses ?

Les résultats seront communiqués dès lors qu'ils seront connus.

## Thème n°13 Volet financier

- 71.** Electrabel a-t-il dû en 2014 vendre de l'électricité nucléaire en-dessous de 20€/MWh ?
- 72.** Electrabel a-t-il dû en 2014 vendre de l'électricité nucléaire à des prix négatifs ? Si oui, quand?
- 73.** Quelle est la perte en chiffre d'affaire et en bénéfice par jour ouvrable et par réacteur T2/D3 subie par l'exploitant suite à leur fermeture ?

Les questions 71 à 73 ci-dessus ne relèvent pas de la problématique de la sûreté nucléaire.

## **GROEN**

*Vragen betreffende het vastgestelde **fenomeen** 'waterstofinsluitels'*

**1.** De waterstofinsluitels zouden volgens Electrabel ontstaan zijn tijdens de fabricage, dus tijdens het giet- een smeedproces van de reactorkuipen. De Rotterdamsche Droogdok Maatschappij (RDM) ontkent dit. Ten tijde van de aanvaarding van het reactorvat bestond de technologie om waterstofvlokken op te sporen. Geen enkel document uit die tijd toont aan dat er destijds wel of geen waterstofvlokken aanwezig waren. Zijn er documenten die de aanwezigheid, het aantal, de locatie en de grootte van deze waterstofinsluitels bevestigen sinds de bouw van de reactorvaten? Is de hypothese van de waterstofvlokken die van in het begin aanwezig waren een vermoeden of een wetenschappelijk bewezen feit?

Zoals in het Addendum van de initiële Safety Case te lezen is, bestaat er een wetenschappelijk consensus over het feit dat waterstofvlokken ontstaan tijdens de fabricage van smeedstukken. De grote aantallen waterstofvlokken die in 2012 vastgesteld werden in Doel 3 en Tihange 2, werden echter tijdens de fabricage niet gerapporteerd, maar de stukken werden conform aan de constructiecode verklaard, na uitvoering van de reglementaire controles.

De stabiliteit van indicaties werd in de Safety Case aangetoond, en is ook vastgesteld door de op een volgende inspecties (2012,2013 en 2014).

**2.** Welke reactorkuipen in binnen- en buitenland zijn al getest op de aanwezigheid van mogelijke indicaties in de wanden van het reactorvat? Hoe kan het verklaard worden dat sommige reactorvaten wel waterstofinsluitels bevatten en andere niet?

De gevoeligheid van een smeedstuk voor de vorming van waterstofvlokken hangt af van diverse factoren zoals chemische samenstelling, waterstofgehalte, giet- en smeedtechnieken, en de toegepaste warmtebehandelingen. Bepaalde combinaties van die factoren kunnen de vorming van waterstofvlokken veroorzaken. De know-how van de staalfabrikant en de smederij zijn bepalend voor het eindresultaat.

De smeedstukken van de reactorkuipen van Doel 3 en Tihange 2 zijn gefabriceerd uit hetzelfde materiaal en volgens een identiek productieproces. In dat geval wordt de gevoeligheid van de smeedstukken voor de vorming van waterstofvlokken voornamelijk bepaald door de combinatie van waterstof- en zwavelgehalte. In de literatuur zijn curves voorhanden die deze gevoeligheid weergeven. Zoals toegelicht wordt in het Addendum van de Safety Case, kon op basis daarvan verklaard worden waarom waterstofvlokken niet in dezelfde mate voorkomen in de verschillende smeedstukken van de reactorkuipen van Doel 3 en Tihange 2.

**3.** Kan het met zekerheid bevestigd worden dat deze waterstofinsluitels niet geëvolueerd zijn sinds de ingebruikname van de reactorvaten tot heden?

Alle mogelijke evolutiemechanismes (vermoëning, corrosie, bestraling) werden bekeken en

uitgesloten. De stabiliteit van indicaties is ook vastgesteld door de opeenvolgende inspecties (2012, 2013 en 2014).

4. Alle indicaties zouden quasi laminair zijn. Welke deviaties zijn er ten opzichte van de richting van de kuipwand?

De maximale deviatie ten opzichte van de richting van de kuipwand is 15°: dit was door metallurgisch onderzoek bewezen.

5. Kan u het verschil uitleggen tussen de mogelijke metaalreacties van de reactorkuip bij laminaire indicaties en indicaties die dwars op de kuipwandrichting staan?

Mechanische spanningen zijn parallel aan de kuipwand. Laminaire indicaties zijn praktisch niet onderhevig aan die spanningen, wel de indicaties die dwars op de kuipwandrichting staan. Er bestaan geen dwarse indicaties in de kuipwand van Doel 3 en Tihange 2.

6. Alle indicaties zouden praktisch niet onderhevig zijn aan mechanische spanningen. Wil dit zeggen dat de insluitsels niet onderhevig zijn aan alle soorten mechanische spanningen of stress die kunnen veroorzaakt worden door bijvoorbeeld grote temperatuur- of drukgradiënten?

Insluitsels zijn quasilaminair: invloed van spanningen is dus laag.

#### *Vragen betreffende de **timing***

7. De eerste bestralingscampagne vond plaats van midden januari 2014 tot midden februari 2014. Waarom heeft Electrabel een half jaar gewacht met de start van de eerste bestralingscampagne? De heropstart en de bijkomende gevraagde acties door het FANC dateren van 17 mei 2013.

Er was noodzaak om een venster te vinden in de BR2 exploitatieplanning om een bijkomende bestralingscyclus te voorzien. De voorbereiding van de monsters vraagt ook veel tijd.

#### *Vragen betreffende de gebruikte **stalen**, de uitgevoerde **testen en de resultaten** van de uitgevoerde **testen***

8. Tijdens de tweede bestralingscyclus werden verschillende soorten geteste materialen gebruikt. Wat zijn de verschillen tussen deze geteste materialen?

Andere stalen werden bestraald ter vergelijking met de VB 395 (twee materialen van de kuip van Doel 3 en een referentiemateriaal "JRQ" gebruikt in meerdere internationale onderzoeksprogramma's). JRQ is meer gevoelig aan verbrossing ten gevolge van zijn chemische samenstelling.

**9.** Proefstukken identiek aan kuipstaalmonsters zijn een soort van de geteste materialen. Hoe is het mogelijk dat er kuipstaalmonsters zijn zonder dat er een destructieve test heeft plaatsgevonden? Het was toch niet mogelijk om stalen te hebben met identieke eigenschappen zoals de reactorvaten? Zijn deze kuipstaalmonsters ook onderhevig geweest aan 40 jaar bestraling en andere stressvormen?

Deze materialen waren onbestraalde coupons bewaard sinds de fabricage van de kuipen.

**10.** Eén van de gebruikte materialen zijn proefstukken uit een mondstuk van de kuip van Doel 3. Ook op slide 15 staat aangegeven dat het materiaal van Doel 3 en Tihange 2 is getest. Kan u dit nader omschrijven? Is het dan toch mogelijk om stalen te nemen uit de reactorkuip of het mondstuk zonder dat de reactorkuip wordt beschadigd?

Zie antwoord op vorige vraag. Het is een goede industriële praktijk om archief materiaal van de fabricage te behouden. De monsters werden dus niet uit de kuipen zelf genomen, wel uit de kuipstukken tijdens fabricage.

**11.** Eén van de gebruikte materialen tijdens de tweede bestralingscyclus is ‘referentiemateriaal met bewezen eigenschappen’. Kan u dit nader omschrijven? In welke zin zijn de eigenschappen van dit materiaal bewezen?

Het “JRQ” werd gebruikt in meerdere internationaal onderzoeksprogramma’s. Dit materiaal is meer gevoelig aan verbrossing ten gevolge van zijn chemische samenstelling. Zijn eigenschappen in bestraalde toestand zijn wel bekend en het is dus interessant voor de validatie van de bestraling in de BR2.

**12.** In de zomer van 2012 heeft Electrabel ultrasoon inspecties uitgevoerd op de reactoren van Doel 3 en Tihange 2 met behulp van een meettoestel genaamd “MIS-B. Begin 2014 heeft de analyse van de resultaten van deze kwalificatie aangetoond dat de detectieparameters van MIS-B niet toelieten om alle foutindicaties te detecteren en dat de methode gebruikt voor de interpretatie van de signalen de neiging vertoonde om de afmetingen van een deel van de gedetecteerde foutindicaties te onderschatten. Daarom heeft Electrabel de gevoeligheid van de ultrasoon detectie van MIS-B verhoogd om te kunnen garanderen dat alle foutindicaties gedetecteerd worden. De aanwezigheid van meer waterstofindicaties is ontdekt dankzij de verhoogde gevoeligheid van de ultrasoon detectie. Kan Electrabel nu met zekerheid stellen dat de gevoeligheid van het apparaat voldoende hoog is ingesteld om alle indicaties te detecteren?

Het kwalificatieproces van MIS-B had als doel de detectie en dimensioneren van de waterstofinluitsels met een hoge zekerheidsniveau te garanderen. Bij het toepassen van de nieuwe detectieparameters en procedure was dit aangetoond : de gevoeligheid van het apparaat is dus voldoende hoog.

**13.** In de loop van de jaren 2014 en 2015 werden verschillende testen uitgevoerd in het SCK en in

verschillende buitenlandse laboratoria. In welke laboratoria werden welke testen uitgevoerd op welke materialen?

Plaats van uitvoering en type testen zijn als volgt:

Mechanische testen:

- SCK-CEN, Mol, België
- AREVA GmbH, Erlangen, Duitsland

Metallografische onderzoeken

- Laborelec, Linkebeek, België
- SCK-CEN, Mol, België
- VTT, Helsinki, Finland
- CEA, Frankrijk
- AREVA GmbH, Erlangen, Duitsland

Residuele waterstofmetingen:

- OCAS, Gent, België

**14.** Tijdens de eerste testcyclus (bestraling + testen) werden in het voorjaar van 2014 vier verschillende testen ondernomen: trektest, rekbaarheidstest, breuktaaiheidstest en onderzoek van de microstructuur? Wat waren de precieze resultaten van de trektest, rekbaarheidstest en het onderzoek van de microstructuur?

Deze informatie maakt deel uit van de antwoorden aan het FANC waarvoor een nieuw rapport (Safety Case) wordt opgesteld.

**15.** Werden de trektest, rekbaarheidstest, breuktaaiheidstest en het onderzoek van de microstructuur ook uitgevoerd na de eerste, tweede, derde en vierde bestralingscampagne? Wat zijn de resultaten van deze testen?

Deze informatie maakt deel uit van de antwoorden aan het FANC waarvoor een nieuw rapport (Safety Case) wordt opgesteld.

**16.** Tijdens de eerste testcyclus (bestraling + testen) werd in het voorjaar van 2014 een niet conform resultaat vastgesteld bij de breuktaaiheidstest op materiaal AREVA VB395 na bestraling. Die test suggereerde dat de mechanische eigenschappen van het materiaal sterker beïnvloed werden door bestraling dan de experts verwachtten.

Kan u ons de precieze cijfers geven over de verwachte resultaten en de afwijking hierop? Kan u ons cijfermatig uitleg verschaffen bij de grafiek die door Electrabel werd gepresenteerd tijdens de subcommissie nucleaire veiligheid van 2 april 2014? Hoe verklaren de experts van Electrabel dat de resultaten van de breuktaaiheidstesten na bestraling in de BR2-reactor afwijken van de in de theoretische modellen voorspelde breuktaaiheid? Is er al een verklaring voor de vastgestelde verbrossing van het metaal?

Deze informatie maakt deel uit van de antwoorden aan het FANC waarvoor een nieuw rapport (Safety Case) wordt opgesteld.

**17.** In de loop van 2014 en 2015 werden vier verschillende bestralingscampagnes (januari-februari 2014, april-mei 2014, juli-augustus 2014, januari-februari 2015) en testen uitgevoerd. De eerste, tweede, derde en vierde bestralingscampagnes en eerste, tweede en derde testronde zijn al voltooid. Kan u ons de protocollen en de resultaten van deze campagnes en testrondes bezorgen?

Deze informatie maakt deel uit van de antwoorden aan het FANC waarvoor een nieuw rapport (Safety Case) wordt opgesteld.

**18.** Hoeveel bijkomende breuktaaiheidstesten werden er uitgevoerd sinds het voorjaar van 2014? Op welke stalen? Wat waren de resultaten? Is het resultaat van de eerste breuktaaiheidstest in het voorjaar van 2014 bevestigd? Wat is de invloed van temperatuur- en drukverschillen, een lage of hoge elektronenflux en wat zijn de verschillende effecten na 20, 30 en 40 jaar bestraling?

De breuktaaiheidstesten werden uitgevoerd op monsters afkomstig van VB395, de Doel 3/Tihange 2 upper core shells en nozzle shells, en KS 02.

De bestralingscampagnes werden alle vier in dezelfde omstandigheden van druk en temperatuur uitgevoerd, die representatief zijn voor de omstandigheden waaronder de reactorkuipen bestraald worden tijdens hun uitbating.

Tijdens de bestralingscampagnes werden de monsters aan verschillende bestralingsniveaus onderworpen om zodoende een beeld te krijgen van de evolutie van de verbrossing van de reactorkuipen na 20, 30, 40 ... jaar bestraling in uitbating.

Er kon geen enkel effect worden waargenomen van de hoge flux van de BR2 reactor op de testresultaten.

Het geheel van de testen die uitgevoerd werden na de vier bestralingscampagnes en de bijhorende resultaten, zullen opgenomen worden in het nieuwe Safety Case rapport.

**19.** Tijdens de tweede en de derde bestralingscampagnes werden meer dan 500 tests uitgevoerd op verschillende materialen? Welke proefstukken werden hiervoor gebruikt? Acht Electrabel de gebruikte materialen als representatief? Welke verschillende testen werden uitgevoerd? Wat zijn de bevindingen inzake de vier rondes met betrekking tot de breuktaaiheidstesten? Zijn er verschillen tussen de verschillende gebruikte stalen (AREVA VB 395, Duits blok KS02, proefstukken identiek aan kuipstaalmonsters, proefstukken uit mondstuk van kuip van Doel 3,...)?

Deze informatie maakt deel uit van de antwoorden aan het FANC waarvoor een nieuw rapport (Safety Case) wordt opgesteld.

**20.** Zijn er verschillen in gedrag tussen de verschillende zones van VB395 vastgesteld?

Deze informatie maakt deel uit van de antwoorden aan het FANC waarvoor een nieuw rapport (Safety Case) wordt opgesteld.



**21.** De derde bestralingscyclus in BR2 was een cyclus met lagere flux. Kan u dit uitleggen? Waarom werd bij deze cyclus een lagere flux gebruikt? Wat zijn de verwachte resultaten hierbij? Lagen deze resultaten in dezelfde lijn als de reële resultaten?

De flux was lager omdat de gewenste fluentie lager was. De bedoeling was om testresultaten te bekomen in het gehele fluentie domein.

**22.** Wat zijn de historische resultaten van KS02? Wat zijn de belangrijkste bevindingen uit de literatuur?

De historische informatie die beschikbaar was bij het opstellen van de initiële Safety Case en het Addendum, gaf aan dat er zich in het centrale deel van de component KS 02 belangrijke segregaties bevonden. Uit de beschikbare historische testresultaten (zie ook vraag 24) kon worden afgeleid dat monsters uit de niet-gesegregeerde en gesegregeerde zones op nagenoeg dezelfde wijze verbrossen onder invloed van neutronenbestraling.

Later kon door bijkomend onderzoek, verricht in het kader van de kuipproblematiek van Doel 3 en Tihange 2, aangetoond worden dat er zich in de gesegregeerde zone van KS 02 eveneens duizenden waterstofvlokken bevonden. Hieruit kan men besluiten dat het materiaal afkomstig uit de zone die door waterstofvlokken aangetast is, zich onder neutronenbestraling op dezelfde wijze verbrost als het materiaal uit de niet-aangetaste zone.

**23.** Waarom is het Duitse blok KS02 niet getest tijdens de eerste en tweede bestralingscyclus?

Op het moment van de eerste en tweede bestralingscyclus kon uit de beschikbare historische gegevens betreffende KS 02 enkel afgeleid worden dat deze component belangrijke segregaties bevatte.

Daarentegen kon Electrabel op dat moment wel reeds beschikken over de VB395 component waarvan men wist dat er grote hoeveelheden waterstofvlokken in aanwezig waren. In de eerste bestralingscyclus werden daarom uitsluitend monsters afkomstig van VB395 opgenomen.

**24.** Welke testen werden en worden uitgevoerd op het Duits Blok KS02?

Het blok KS 02 werd uitvoerig getest in het kader van een omvangrijk Duits onderzoeksprogramma met betrekking tot grote smeedstukken dat in de jaren 1980 werd gevoerd. Het onderzoek spitste zich toe op het effect van segregaties op de mechanische eigenschappen van het materiaal. Daartoe werden diverse mechanische testen uitgevoerd op onbestraalde en bestraalde monsters afkomstig uit de niet-gesegregeerde en gesegregeerde zones van het blok: Charpy impact testen, breuktaaiheidspoeven, trekpoeven, Pellini drop weight testen.

In het kader van de problematiek van de reactorhuizen van Doel 3 en Tihange 2 werd bijkomend onderzoek verricht op resterend KS 02 materiaal: ultrasoononderzoek en metallografisch onderzoek, en mechanische testen op onbestraalde en bestraalde (vierde bestralingscampagne in

BR2 te Mol) monsters uit een overgebleven blok KS 02 materiaal.

**25.** Op slide 15 van de Electrabelpresentatie van 25 februari 2015, zoals getoond in de subcommissie nucleaire veiligheid staan de conclusies van Electrabel na 3 bestralingscampagnes. Deelt het FANC deze conclusies? Waarom wel of waarom niet?

De vraag valt onder het FANC verantwoordelijkheid.

**26.** Wat houdt de conclusie 'geen effect van bestralingsomgeving' in?

Dit betekent geen verschil tussen resultaten in BR2 en in vermogenreactor.

**27.** Zijn er effecten vastgesteld inzake trekbaarheid, rekbaarheid en breuktaaiheid?

Deze informatie maakt deel uit van de antwoorden aan het FANC waarvoor een nieuw rapport (Safety Case) wordt opgesteld.

**28.** Concludeert Electrabel dat het staal van alle geteste materialen in de verschillende bestralings- en testcampagnes tot nu toe niet verbrost is?

Alle mechanische eigenschappen worden onder bestraling beïnvloed.

**29.** Concludeert Electrabel dat er geen effect is op de aanwezige waterstofinsluitels in alle stalen na alle bestralings- en testcampagnes tot nu toe?

Deze informatie maakt deel uit van de antwoorden aan het FANC waarvoor een nieuw rapport (Safety Case) wordt opgesteld.

**30.** De UT testen zouden aantonen dat de scheurtjes tussen 2012 en 2014 niet geëvolueerd zijn. Kan Electrabel met zekerheid stellen dat er geen evolutie was van de waterstofindicaties sinds de herstart van de kernreactoren in mei 2013?

Ja. Een eerste vergelijking werd gemaakt tussen de inspecties uitgevoerd in 2012 en 2013 (na de load test), en een tweede tussen 2012 en 2014 (load test + één cyclus). Op basis van beide vergelijkingen kan men besluiten dat alle indicaties ongewijzigd gebleven zijn in amplitude en grootte (rekening houdend met de precisie van de meting).

**31.** Vindt Electrabel de periode tussen mei 2013 en maart 2014 significant om te kunnen concluderen dat de insluitels niet geëvolueerd zijn tussen 2012 en 2014?

Ja. Zie Vraag 30.

**32.** Is er ook een bewijs dat de waterstofindicaties niet geëvolueerd zijn tussen 1985 en 2012, dus sinds de ingebruikname van de kernreactoren?

Alle mogelijke evolutiemechanismes werden bekeken en uitgesloten. Er werd ook vastgesteld dat er geen enkele correlatie bestaat tussen de neutronenflux en de grootte van indicaties.

**33.** Tijdens de analyses in 2012 was er een onderschatting van het aantal en de afmetingen van de indicaties. Kan Electrabel nu met zekerheid stellen dat het aantal en de afmetingen van de indicaties reëel is?

Vergelijking tussen UT signaal en destructieve afmeting op ongeveer 100 indicaties uitgevoerd tijdens de kwalificatieproces heeft de dimensioneringsmethode aanvaard. Zie ook antwoord op vraag 12.

**34.** In de onderste ring van het reactorvat van Doel 3 zijn opvallend meer indicaties dan in de bovenste ring van ditzelfde reactorvat. Kan hier een verklaring voor worden gegeven? Het is net andersom bij de reactorkuip van Tihange 2. Kan hier een verklaring voor worden gegeven?

De toelichting die onder vraag 2 is opgenomen, is eveneens van toepassing op deze vraag.

**35.** Er zijn duidelijk meer indicaties in het reactorvat van Doel 3 dan in het reactorvat van Tihange 2. Kan hiervoor een verklaring worden gegeven?

De toelichting die onder vraag 2 is opgenomen, is eveneens van toepassing op deze vraag.

**36.** Sommige indicaties werden samengenomen tot 1 grote indicatie. Waarom?

Als indicaties dicht bij mekaar liggen is het soms onmogelijk voor de UT toegepaste techniek de indicaties te onderscheiden. Daarom zijn ze als een grotere indicatie opgenomen, wat conservatief is.

**37.** Kan Electrabel met zekerheid stellen dat de aanwezige indicaties niet met elkaar interageren of kunnen interageren?

De mogelijke mechanisch interactie tussen indicaties maakt deel van het analyseproces en is in beschouwing genomen. Dit is in de initiële Safety Case beschreven.

*Vragen betreffende de **evaluaties** van de uitgevoerde testen*

**38.** Wat waren de bevindingen en de suggesties van het International Review Bord (IRB) dat samenkwam van 3 tot en met 7 november 2014 tav Electrabel?

De vraag valt onder de FANC verantwoordelijkheid.

**39.** Wat waren de commentaren van BEL V?

De vraag valt onder de FANC verantwoordelijkheid.

**40.** De positie van het FANC eind 2014 was dat de approach ontwikkeld door Electrabel op sommige punten nog 'niet matuur genoeg' was opdat de veiligheidsautoriteiten een positie zouden kunnen innemen. Op welke punten moest deze approach geoptimaliseerd worden? Welke aspecten uit het ingediende dossier werden als 'niet matuur genoeg' bestempeld en hoe zal Electrabel aan die opmerkingen tegemoet komen? Wat waren de 26 concrete vereisten en de 14 suggesties van het FANC ten aanzien van Electrabel?

De vraag valt onder de FANC verantwoordelijkheid.

**41.** Hoe zal Electrabel het vertrouwen in de Electrabel approach versterken?

Electrabel doet beroep op externe experts (nationaal en internationaal) om al zijn rapporten en conclusies te reviewen en te valideren.

Zodra het veiligheidsdossier Doel3/Tihange2 is afgerond en de conclusies bij FANC zijn ingediend en onderzocht, zijn we uiteraard bereid in alle transparantie de nodige brede communicatie te voeren. Ondertussen werken we actief verder aan het voorbereiden van het finaal rapport, gericht aan FANC en diens talrijke wetenschappelijke experts (zie ook begeleidende brief).

**42.** Wat is het standpunt van de Electrabel-experts over de beweringen van de professoren MacDonald en Bogaerts en in het bijzonder hun vermoeden dat de scheurtjes door de infiltratie van waterstofmoleculen kunnen evolueren en dit mogelijks een generisch probleem is dat alle kernreactoren in de wereld kan treffen?

Dit mechanisme werd bekeken in het begin van de safety case (eind 2012) en kon worden uitgesloten op basis van uitgebreid literatuuronderzoek, berekeningen, metingen en discussies met experts. De bekomen maximale waterstofconcentratie is te laag.

*Vragen betreffende het **volledige kerncentralepark***

**43.** Door de afstelling van de UT-machines te verfijnen werden in Doel 3 en Tihange 2 plots veel

meer indicaties ontdekt dan door de oorspronkelijke inspectie in 2012. De reactorvaten van Tihange 1 en Tihange 3 werden met dezelfde methodes geïnspecteerd als Doel 3 en Tihange 2 in 2012 (MIS-B). Is het niet aangewezen om ook de reactorvaten van Tihange 1 en Tihange 3 opnieuw te inspecteren en ditmaal met de verfijnd afgestelde inspectiemachine? Zullen de na de zomer geplande inspecties van de reactorvaten van Doel 1, Doel 2 en Doel 4 gebeuren met de verfijnd ingestelde inspectiemachines, of met dezelfde instelling en methode als in 2012?

De UT kwalificatie heeft aangetoond dat de methode gebruikt in Tihange 1 en 3 in 2013 voldoende gevoelig was om de aanwezigheid van flaking te detecteren. Er is dus geen reden om die kuipen opnieuw te inspecteren. Doel 4 en Doel 1/2 (in geval van LTO) zullen geïnspecteerd worden met de verfijnd ingestelde methode.

Herinspectie: initiale inspectietechniek voldoende gevoelig om aanwezigheid van “flaking” te detecteren.

**44.** Wanneer precies zullen de andere kernreactoren getest worden met behulp van de meer nauwkeurige inspectiemethode op de aanwezigheid van waterstofinluitsels? Zal het reactorvat van Doel 4 pas getest worden tijdens de tienjaarlijkse revisie van 26 september tot 13 november 2015?

Doel 4 zal inderdaad getest worden tijdens de tienjaarlijkse revisie vanaf einde september 2015.

**45.** Inzake de mogelijke verlenging van de levensduur van de kerncentrales Doel 1 en Doel 2 zouden prioritair deze centrales moeten getest worden op de mogelijke aanwezigheid van waterstofindicaties. Waarom zal eerst het reactorvat van Doel 4 getest worden op waterstofinluitsels en dan pas de reactorvaten van Doel 1 en Doel 2?

Inspecties vinden plaats tijdens geplande revisies. Ook moet MIS inspectie machine aangepast worden voor inspecties in Doel 1 en 2 (kleinere kuip), iets die tot nu toe niet voorzien was.

**46.** In het kader van het LTO-programma en de verwezenlijking van de stresstestacties zullen diverse ingrijpende verbeteringsmaatregelen moeten worden doorgevoerd. Wat is de timing voor de implementatie van volgende noodzakelijke acties:

- bunkering van de spent fuel pools van D1/D2
- vervanging van de reactorvatdeksels
- installatie van gefilterde drukontlasting systemen (filtered ventilation systems)

Dit punt zal het voorwerp uitmaken van een document ten behoeve van de commissie.

**47.** De design life-time van kernreactoren Doel 1, Doel 2 en Tihange 1 bedraagt 30 jaar. Waarom wordt er pas nu en niet in 2005 een LTO-programma voor deze reactoren doorgevoerd?

Er is geen design life-time gedefinieerd voor de kernreactoren: wel zijn er beschouwingen van een aantal exploitatietransiënten voor het ontwerp van sommige componenten. De initiële exploitatie vergunning (1975) had een onbepaalde duur, maar was gekoppeld aan het principe van Tienjaarlijkse Herziening. Het is in dit kader dat verdere exploitatie van de kernreactoren beoordeeld en aanvaard werd door de overheid.

**48.** Zijn er contacten tussen de experts van Electrabel en hun collega's van onder andere EDF, Iberdrola, Vattenfall, ... over de problemen met de waterstofindicaties?

Contacten hebben langs WANO organisatie plaatsgevonden, sedert 2012, in het kader van exploitatie-ervaring uitwisseling.

**49.** Werd in andere landen bij de inspectie van de reactoren die ook reactorvaten van RDM hebben identiek dezelfde inspectiemachine- en methode gebruikt als diegene die in 2012 de indicaties in Doel 3 en Tihange 2 ontdekten?

De vraag valt onder de FANC verantwoordelijkheid.