

Briefing

UN « INCIDENT » MAJEUR La dégradation du couvercle de cuve à Davis Besse et ses conséquences

Briefing DAB1

Version 1 11 octobre 2002

Auteur : Abdelkader AMEUR¹, Yves MARIGNAC

Mots clés : *Davis Besse - couvercle de cuve - corrosion - fissures - sûreté nucléaire*

Sommaire :	1. Résumé.....	2
	2. Description de l'incident de la centrale de Davis Besse.....	3
	2.1. Le réacteur de Davis Besse.....	3
	2.2. Dimensions et localisation de la cavité dans le couvercle de cuve.....	4
	3. Les hypothèses sur les origines et les processus de défaillance.....	4
	3.1. Les origines de la cavité de Davis Besse.....	4
	3.2. La problématique des fissures.....	5
	4. Impact potentiel des fissures sur les couvercles de cuve.....	6
	5. Les lacunes dans la surveillance.....	8
	5.1. La faiblesse des dispositifs de contrôle.....	8
	5.2. Contrôle insuffisant et négligence.....	9
	6. Les origines conceptuelles de l'endommagement.....	10
	6.1. Montage et soudure des adaptateurs.....	10
	6.2. Origine des fissures.....	10
	6.3. Types des fissures.....	10
	6.4. Réparation des fissures.....	11
	7. Les limites des dispositifs de sécurité.....	11
	7.1. Les parades en cas de rupture due à une fissuration.....	11
	7.2. Les limites des dispositifs de sûreté.....	11
	8. Les répercussions éventuelles sur le parc français.....	12
Annexes :	A1. Illustrations – la cavité découverte à Davis Besse.....	13
	A2. Illustrations complémentaires.....	15

1. Ce briefing a été finalisé à partir d'une note du 22 juillet 2002 préparée par AST (Ameur Sciences et Techniques) pour WISE-Paris.

UN « INCIDENT » MAJEUR
La dégradation du couvercle de cuve à Davis Besse et ses conséquences

1. Résumé

L'unique réacteur de la centrale américaine de Davis Besse, dans l'Ohio – un réacteur à eau sous pression de 837 MWe – a connu en mars 2002 un incident majeur sans précédent : une opération de maintenance du couvercle de cuve a permis de découvrir, par hasard, une cavité de 15 cm de profondeur et 17 cm de large.

Seuls les 3 mm de peau extérieure, en acier inoxydable, de la cuve ont résisté. La cavité, dont l'opérateur, FirstEnergy, évalue le début du creusement à 1998, est expliquée par la corrosion de l'acier au carbone de la cuve par de l'acide borique, provenant lui-même d'une fuite de l'eau borée du circuit primaire du réacteur par une fissure sur la paroi externe de la cuve. celle-ci s'est produite au niveau de la soudure d'un des adaptateurs qui permettent la traversée du couvercle par les barres de contrôle ou les colonnes d'instrumentation.

Bien que des dépôts d'acide borique au niveau de l'adaptateur concerné aient été constatés dès 1998, aucune mesure corrective n'a été entreprise. Qui plus est, les examens par contrôle télévisuel menés à plusieurs reprises sur la cuve n'ont jamais permis de déceler la cavité, qui se développait sur la paroi interne de la cuve.

Le problème des fissures sur les adaptateurs est connu depuis les années quatre-vingt dix, où de telles fissures ont été détectées sur plusieurs réacteurs d'EDF, en France, après la découverte de la première à la centrale de Bugey, en 1991. D'autres fissures du même type ont été identifiées, notamment sur des réacteurs américains en 2000 et 2001.

Ces fissures sont notamment dues à la fragilité des soudures hétérogènes (liaison entre l'acier au carbone de la cuve, l'acier inoxydable de sa peau externe, et l'Inconel, alliage qui compose l'adaptateur). La fissure peut apparaître de façon transversale ou circonférentielle, cette seconde étant plus dangereuse du fait du risque de rupture brutale de l'adaptateur.

Les autorités de sûreté française comme américaine ont toujours jugé peu problématique l'apparition de fissures transversales, et très improbable le cas de fissures circonférentielles. L'exemple de Davis Besse montre qu'une telle fissure peut conduire à une cavité suffisamment grande pour ouvrir une brèche dans la cuve, où la pression peut atteindre 172 bars. Le déchirement de la dernière protection, la membrane en acier inoxydable de quelques millimètres seulement d'épaisseur, aurait pu ouvrir une brèche de 200 cm² environ, susceptible d'entraîner des problèmes très graves comme la perte en eau du réacteur et l'éjection d'une partie des barres de contrôle ou leur perte de fonction.

Un rapport publié le 10 octobre 2002 par l'autorité de sûreté américaine, la NRC, met en cause la négligence de l'opérateur de Davis Besse mais aussi l'incapacité de l'agence de contrôle à apprécier la gravité de la situation, conduisant un phénomène évitable à devenir un grave problème de sûreté. Et rien ne permet aujourd'hui de garantir que d'autres fissures ne se creusent pas de façon similaire sur d'autres réacteurs américains.

La remarque s'applique aussi aux réacteurs d'EDF, qui utilisent la même technologie. En France pourtant, la vigilance de l'exploitant comme de l'autorité de sûreté semble retombée, après l'effervescence créée par les premières fissures il y a plus de 10 ans.

2. Description de l'incident de la centrale de Davis Besse

2.1. Le réacteur de Davis Besse

La centrale de Davis Besse est située sur la rive du lac Erie à l'est de Toledo à Oak Harbor dans l'Ohio aux USA. Elle est constituée d'un seul réacteur à eau pressurisée (PWR) de 873 MWe de puissance nette, fourni par la société Babcock & Wilcox et exploité depuis avril 1977 par son propriétaire la société First Energy Nuclear Operating.

Du point de vue sûreté, comme tout réacteur de ce type, il a trois barrières constituant sa défense en profondeur (obstacles physiques à la dispersion des produits radioactifs) agencées comme des poupées russes :

- la gaine métallique du combustible pour empêcher les produits de fission de passer dans l'eau du circuit primaire,
- l'enveloppe en acier du circuit primaire comportant entre autres, la cuve du réacteur, pour empêcher l'eau et les produits de fission susceptibles d'être relâchés par la gaine du combustible de se retrouver dans l'enceinte du bâtiment,
- l'enceinte de confinement (bâtiment réacteur) pour éviter la dispersion des produits radioactifs dans le cas où l'enveloppe du circuit primaire fuit.

La cuve du réacteur est faite en acier au carbone (acier ferritique) de 152 mm (6 pouces) d'épaisseur prévue pour résister à une pression de 172 bar (2500 psi). Elle est revêtue sur sa face intérieure d'une couche protectrice en acier inoxydable de 5 mm (3/16 pouce) d'épaisseur à cause de l'eau du circuit primaire qui contient de l'acide borique, substance très corrosive et à laquelle l'acier au carbone ne résiste pas.

Le couvercle en acier au carbone de la cuve peut être enlevé lors des opérations de chargement-déchargement du combustible.

Il est percé de nombreux trous servant à la mise en place des manchettes d'adaptation pour les mécanismes des grappes de contrôle du réacteur servant à son pilotage et des colonnes d'instrumentation (thermocouples). La figure 5 (Annexe 2) présente le schéma d'une de ces manchettes.

Ces manchettes, appelées aussi adaptateurs, réalisées dans un alliage nickel-chrome-fer, appelé Inconel 600², à très forte teneur en nickel (75 %), sont soudées au couvercle. Elles font partie de l'enveloppe du circuit primaire dont elles permettent de conserver l'intégrité (seconde barrière) et d'assurer le bon fonctionnement des barres pour l'arrêt du réacteur.

Les problèmes liés à l'interface entre ces adaptateurs et le couvercle de cuve ne sont pas nouveaux³. Du fait de la courbure du couvercle, la soudure le liant à l'adaptateur présente une excentricité dont le degré varie en fonction de la localisation. L'inclinaison du cordon de soudure par rapport à l'axe de la traversée est plus important pour les traversées les plus périphériques. La soudure produit alors une contrainte inégale sur ces adaptateurs périphériques, les tordant légèrement et les déformant en leur conférant une forme légèrement ovale.

2. Inconel 600 : alliage nickel-chrome de composition minimale 72 % nickel, 14 à 17 % chrome et 6 à 10 % fer, utilisé pour ses propriétés mécaniques à haute température.

3. Voir par exemple Greenpeace, *La fissuration des traversées de couvercle de cuve des réacteurs nucléaires*, mars 1993.

La plupart de ces adaptateurs sont garnis de manchettes thermiques en acier inoxydable. L'intervalle entre l'adaptateur et la manchette thermique, étroit d'environ 3 mm, rend l'inspection difficile sinon impossible pour certaines configurations géométriques.

Dans le cas du réacteur de Davis Besse, le couvercle était de plus protégé par une isolation métallique rendant encore plus difficile son inspection visuelle.

2.2. Dimensions et localisation de la cavité dans le couvercle de cuve

Au cours d'une opération de contrôle du couvercle de cuve menée début 2002, l'exploitant de la centrale a constaté que 5 adaptateurs sur les 69 que compte le couvercle présentaient des fissures sur la face extérieure⁴.

C'est en commençant la réparation le 6 mars 2002 que des opérateurs ont découvert, par hasard, une dégradation importante du couvercle de la cuve (à proximité de l'adaptateur n° 3) qui n'avait pas été décelée auparavant.

Le couvercle était creusé, dans presque toute son épaisseur, par une grosse cavité, présentant les dimensions suivantes⁵ :

- 152 mm (6 pouces) de profondeur,
- 127 mm (5 pouces) de long,
- 178 mm (7 pouces) de large.

Ce trou n'était plus qu'à 38 mm (1,5 pouce) de l'adaptateur n° 11. Les figures 1 à 4 (Annexe 1) illustrent l'aspect et la localisation de cette cavité.

Des investigations supplémentaires ont pu montrer l'existence de deux autres cavités, plus petites que la première, près d'un autre adaptateur⁶.

3. Les hypothèses sur les origines et les processus de défaillance

3.1. Les origines de la cavité de Davis Besse

Selon la société FirstEnergy⁷, propriétaire et exploitant du réacteur, une fissure axiale s'est développée à partir de 1990 dans l'adaptateur n° 3 pour déboucher en surface du couvercle en 1995 après avoir parcouru tout l'adaptateur.

La formation de la cavité est expliquée alors par le fait que l'acide borique, fuyant continuellement à travers cette fissure, a petit à petit corrodé l'acier ferritique constituant le couvercle.

S'appuyant sur la découverte de la cavité en 2002 et une concentration anormale de particules d'oxyde de fer détectée dans l'atmosphère du bâtiment réacteur en 1999, FirstEnergy estime rétrospectivement la vitesse de son expansion à approximativement 2 pouces par an (environ 50 mm/an) et la justifie par les fuites d'eau primaire qui continuaient à se répandre à travers la fissure sur la face externe du couvercle, qui contrairement à la face interne n'est pas protégée contre la corrosion.

4. Rapport dit "Root Cause Investigation" de FENOC (FirstEnergy Nuclear Operation Co.) du 22 mars 2002, cité in Union of Concerned Scientists (UCS), *Briefing Davis-Besse: the reactor with a hole in its head*, 2002.

5 Union of Concerned Scientists (UCS), *Briefing Davis-Besse: the reactor with a hole in its head*, 2002.

6 *Nuclear Monitor*, "Millimeters from disaster", 22 mars 2002.

7 UCS, op. cit.

Reste que les opérateurs n'ont pas décelé d'endommagement du couvercle durant les inspections visuelles de 1998 et de 2000. FirstEnergy explique cette inefficacité du contrôle en supposant que les cristaux d'acide borique recouvraient le couvercle, masquant ainsi la surface du métal⁸. La photographie de la figure 6 (Annexe 2) illustre les conséquences visuelles du dépôt de cristaux d'acide borique sur des éléments de couvercle de cuve.

3.2. La problématique des fissures

Les problèmes de fissuration des couvercles de cuve sont un phénomène bien connu des spécialistes du nucléaire.

Le parc nucléaire français, en particulier, a été largement touché par ce phénomène au début des années quatre-vingt dix. En 1991, EDF (Électricité de France) a révélé au public la détection de la première fissure dans le couvercle de cuve du réacteur de Bugey. Cette détection eut lieu en septembre 1991 lors de l'épreuve hydraulique décennale réglementaire à 207 bar de l'enveloppe du circuit primaire de ce réacteur qui fonctionnait depuis 12 ans⁹.

La fuite de 1 litre/heure découverte sur un adaptateur en Inconel 600 fut attribuée par EDF à une fissure longitudinale. Elle serait due selon EDF¹⁰ :

- aux contraintes résiduelles notables dues à l'ovalisation de l'adaptateur lors de sa soudure au couvercle,
- à la sensibilité de l'Inconel 600 au phénomène de corrosion sous contrainte intergranulaire.

Les fissures peuvent avoir deux formes :

- la fissure longitudinale ou axiale qui est susceptible de fuir, donc de donner l'alerte, avant de rompre,
- la fissure circonférentielle qui, au contraire, peut céder sans avertissement.

Les fissures du premier type, estimées comme gérables, ne sont pas considérées comme présentant des risques pour la conduite du réacteur¹¹. Par contre, celles du second type peuvent s'avérer plus pénalisantes et avoir des implications sérieuses pour la sûreté.

En mai 1996, EDF signalait la fissuration dans le couvercle du réacteur n° 2 de la centrale de Fesseinheim. La fissure axiale avait les dimensions suivantes¹² :

- profondeur de 3,2 mm au-dessus de la soudure entre l'adaptateur et le couvercle,
- longueur inférieure à 3 mm.

De 1991 à 1996, EDF reconnaît que 41 adaptateurs sur 2800 inspectés présentaient des fissures¹³.

L'autorité de sûreté américaine NRC¹⁴ (Nuclear Regulatory Commission) confirmait la position d'EDF sur la nocivité des fissures et publiait dans le rapport d'évaluation du

8 UCS, op. cit.

9. Greenpeace, op. cit.

10. *Revue Générale du Nucléaire*, n°6, novembre-décembre 1995.

11. Greenpeace, op. cit.

12. WISE-Paris, *Les lacunes de la sûreté nucléaire d'EDF – Le cas de Cattenom*, Briefing, 3 septembre 2001.

13. Idem.

14. Nuclear Regulatory Commission (NRC), *Circumferential cracking of reactor pressure vessel head penetration nozzles*, Office of NRC, Washington DC, OMB control n° 3150-0012 du 3 août 2001.

19 novembre 1993 que les fissures axiales dans les couvercles de cuve ne présentaient pas un risque majeur¹⁵ pour la sûreté du réacteur.

C'est ce type de fissures qui a été encore découvert à :

- la centrale nucléaire d'Oconee, unité 1 (ONS 1) en novembre 2000,
- la centrale d'Arkansas, unité 1 (ANO 1) en février 2001.

Cependant, récemment aux USA, des fissures circonférentielles autour des adaptateurs ont été identifiées par la présence de petites quantités de dépôt d'acide borique à la centrale d'Oconee sur les couvercles de cuve de :

- l'unité 3 en février 2001,
- l'unité 2 en avril 2001.

Une des fissures circonférentielles de l'unité 3 était particulièrement grande et présentait une implication sérieuse pour la sûreté. Elle entourait l'adaptateur en Inconel 600 sur 165° au-dessus de la soudure et prenait naissance à son diamètre extérieur. Une autre de ces fissures traversait l'épaisseur de l'adaptateur.

Du point de vue cinétique de la fissuration, EDF¹⁶ préconise une vitesse de propagation de 0,5 µm/heure une fois la fissure initiée. L'autorité de sûreté nucléaire française¹⁷ confirme ce chiffre en donnant cette vitesse inférieure à 4 mm/cycle (soit environ 3 mm en 8000 h).

Mais la découverte des fissures circonférentielles de la centrale d'Oconee (unités 2 et 3) a amené la NRC à adopter une attitude plus prudente en supposant que si l'adaptateur fuit, l'eau primaire très concentrée en bore pourrait être oxygénée et accroître le risque d'initiation de fissuration et augmenter le taux de croissance de la fissure.

4. Impact potentiel des fissures sur les couvercles de cuve

Une cavité telle que celle découverte à Davis Besse peut avoir des conséquences graves sur la sûreté du réacteur. L'eau du circuit primaire, par le biais de l'acide borique qu'elle contient, a creusé une cavité dans l'épaisseur du couvercle de la cuve pour atteindre le revêtement intérieur en acier inoxydable. La cuve aurait pu alors connaître une rupture due à la pression interne qui y règne (environ 150 bar).

Heureusement, le revêtement, bien que mince et soumis à la pression dans la cavité creusée, a plié mais n'a pas rompu, gardant l'eau de refroidissement confinée dans la cuve et sauvant donc la seconde barrière du réacteur.

Dans le cas où ce revêtement aurait cédé, un accident très grave aurait pu se produire : c'est la perte du réfrigérant du réacteur appelé en anglais LOCA (Loss Of Coolant Accident) qui pourrait conduire à une fusion totale ou partielle du cœur du réacteur.

15.NRC, op. cit.

16. WISE-Paris, op. cit.

17. DSIN, *Rapport annuel*, 1996. La DSIN, Direction de la sûreté des installations nucléaires, est l'ancienne appellation de l'autorité de sûreté nucléaire française, devenue en mars 2002 la DGSNR, Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection.

La brèche aurait mené alors au relâchement d'un débit radioactif eau-vapeur à très haute pression qui aurait pu :

- amplifier l'endommagement des mécanismes de commande de grappes dans les adaptateurs avec pour conséquence, la création de nouvelles séquences accidentelles non prévues (déformation des adaptateurs bloquant la chute des barres),
- endommager les équipements de sûreté du réacteur situés au-dessus de la cuve et potentiellement entraîner une onde de choc suffisante pour casser et éjecter les barres de contrôle déjà fissurées qui, à leur tour vont détruire d'autres barres nécessaires à l'arrêt du réacteur.

En tous les cas, la déformation des adaptateurs pourrait réduire les possibilités de réglage des barres de contrôle, donc le contrôle de la puissance du réacteur.

Cela pourrait donc conduire à la défaillance de son arrêt d'urgence. Dans ce cas, le cœur continuerait à fournir de la puissance qui ne serait certainement pas évacuée totalement. Un risque d'accumulation d'hydrogène par pyrolyse de l'eau et donc d'explosion s'ajouterait au scénario.

Bien que les pompes soient supposées continuer à fonctionner normalement en milieu fortement agressif, le combustible pourrait sous de telles conditions connaître au moins une fusion partielle avec des rejets importants d'abord dans le bâtiment réacteur puis dans l'environnement en cas de perte de confinement du bâtiment réacteur.

Dans le rapport qu'elle a consacré à l'accident – « Le réacteur qui avait un trou dans la tête »... –, l'Union of Concerned Scientists¹⁸ mentionne que :

« Dans différentes installations nucléaires aux USA et dans le monde, l'énergie thermohydraulique du mélange eau-vapeur jaillissant dans l'enceinte du réacteur lors d'un accident de type LOCA pourrait détruire des équipements et des canalisations, les débris se retrouveront alors dans le puisard où ils pourront colmater les sorties d'eau vers les pompes d'urgence. »

Les conséquences d'une brèche, similaire à celle trouvée à Davis Besse, pourraient bloquer les puisards de 46 % des installations existantes aux USA. Celles d'une cavité légèrement plus grande endommageraient 82 % de ces réacteurs. »

Greenpeace¹⁹ avait déjà signalé, dans son étude consacrée en 1993 aux phénomènes de fissures observés sur le parc français, que :

- selon une étude allemande, les petites et moyennes brèches sur le circuit primaire contribuent pour 45 % à la fréquence attendue des fusions de cœur,
- selon une étude française plus conservatrice, ce chiffre est ramené à la proportion malgré tout très importante de 28 %.

Même limitée, la probabilité d'une catastrophe (fusion de cœur) n'est donc pas à exclure dès lors qu'on aborde les phénomènes de fissuration sur la cuve et le circuit primaire.

Un autre paramètre doit être pris en compte : la corrosion du couvercle n'est pas nécessairement restreinte au voisinage d'un seul adaptateur. L'éjection simultanée de plusieurs mécanismes de commande de grappes, risque très important pour la conduite du réacteur, doit donc être envisagée comme le pire cas possible (*worst case scenario*).

18. UCS, op. cit.

19. Greenpeace, op. cit.

En conclusion, les fissures constituent dans tous les cas une dégradation de la barrière de confinement du circuit primaire, et sont toujours un événement sérieux. Dans ce domaine, la cavité de Davis Besse représente un avertissement. La NRC a d'ailleurs classé l'incident de Davis Besse au niveau 3 sur l'échelle INES, classement des événements nucléaires comprenant 8 niveaux (0 pour les événements mineurs, de 1 à 3 pour les incidents, de 4 à 7 pour les accidents).

5. Les lacunes dans la surveillance

5.1. La faiblesse des dispositifs de contrôle

Le dépôt d'acide borique sur la surface du couvercle de Davis Besse où le trou fut découvert était connu par la NRC depuis 1998²⁰ et aucune disposition sérieuse n'a été prise.

La corrosion des tubes en Inconel 600 des générateurs de vapeur, par sa similitude, aurait dû provoquer la vigilance pour la surveillance du couvercle de cuve.

Par ailleurs, First Energy²¹ fait remarquer que dès 1999, une concentration anormale de particules d'oxyde de fer a été détectée dans l'atmosphère du bâtiment réacteur, ce qui laisserait penser que le couvercle était déjà bien rongé. Cependant, aucune action n'a été initiée.

Si l'acide borique s'est retrouvé sur le couvercle, c'est du fait des fuites par les fissures ou par les cavités. Le contrôle télévisuel, à lui seul, n'est pas suffisant pour quantifier les fissures à cause de la configuration du couvercle, des différentes protections et des différents dépôts, notamment les couches de cristaux boriques, qui gênent l'accès et masquent le débouché des fissures.

Ce type de contrôle souffre généralement de la résolution optique des appareils utilisés²² et connaît les mêmes limites que les autres techniques de contrôle non destructif. En effet, le programme européen PISC (Programme of Investigation of Steel Components, 1974-1994) a montré une dispersion significative des résultats de contrôle et ce, pour des conditions opératoires largement plus favorables que celles que l'on pourrait rencontrer sur le couvercle d'un réacteur nucléaire.

Nécessitant en outre un traitement de surface (nettoyage), le contrôle télévisuel est donc souvent impossible à réaliser correctement du fait des fortes doses d'irradiation susceptibles d'être reçues par les opérateurs.

Par ailleurs, lors des opérations prévues de maintenance, les opérateurs avaient pour mission de rechercher des fissures et non la corrosion, mission d'autant plus ardue que le couvercle et les adaptateurs sont recouverts d'une isolation métallique rendant l'accès particulièrement difficile²³. Cette isolation, par contre, n'empêche pas le déversement de l'acide et peut d'ailleurs exacerber son action corrosive.

En conclusion, pour Davis Besse, l'examen télévisuel est biaisé et le couvercle n'est pas vérifié correctement.

20. *Nuclear Monitor*, op. cit.

21. Cité par UCS, op. cit.

22. UCS, op. cit.

23. UCS, op. cit.

5.2. Contrôle insuffisant et négligence

Si les examens réguliers de contrôle visuel ne permettaient pas de déceler un phénomène tel que celui découvert à Davis Besse, d'autres indications, si elles avaient été prises en compte, auraient pu donner l'alerte.

En premier lieu, FirstEnergy a noté que la concentration en particules de fer, révélatrice de corrosion, était anormalement élevée dans le bâtiment réacteur. Mais cette indication n'a pas été exploitée.

Vraisemblablement, d'autres aérosols, émanant du circuit primaire, ont dû se retrouver sur les filtres de très haute efficacité en sortie du bâtiment. Mais cela n'a visiblement pas généré d'alerte.

De plus l'eau borée, en fuyant à travers le couvercle sous forme vapeur, se condense sur les surfaces froides et augmente anormalement la radioactivité dans le bâtiment. Ce phénomène n'a vraisemblablement pas, ou pas suffisamment, été pris en compte.

L'augmentation de l'hygrométrie due aux fuites d'eau primaire dans le bâtiment réacteur et la détection de l'iode auraient dû alerter les services de radioprotection de la centrale. En effet, une telle augmentation a des répercussions directes sur les filtres en charbon actif, et donc sur les mesures enregistrées qui auraient pu enclencher des actions correctives.

Enfin la variation non négligeable du volume du circuit primaire, due aux fuites, aurait dû provoquer une alarme.

Comme la sûreté exige que tout composant entrant en contact avec l'eau du circuit primaire soit fabriqué dans un matériau résistant à la corrosion ou protégé par une couche d'acier inoxydable, on ne devait donc pas tolérer de fuites acides sur l'acier au carbone.

Un rapport publié le 9 octobre 2002 par le groupe de travail mis en place par la NRC dénonce la responsabilité des acteurs. L'insuffisant contrôle de l'autorité et la négligence de l'opérateur ont transformé un phénomène évitable en véritable problème de sûreté. Ainsi que le résume Ed Hackett, l'un des auteurs du rapport, « *personne n'a connecté les points. (...) Alors que toute l'information était là, elle aurait dû être rassemblée* »²⁴.

Le rapport dégage trois causes principales à l'absence de détection et d'action entre le début supposé du phénomène, en 1998, et la découverte de la cavité en mars 2002 :

- L'autorité de sûreté, l'opérateur de la centrale et l'industrie nucléaire en général n'ont pas suffisamment évalué et intégré l'expérience d'exploitation dans ce domaine.
- L'opérateur de la centrale a échoué à accorder l'attention requise aux problèmes de sûreté de ses installations.
- La NRC n'a pas intégré l'information connue ou disponible dans son évaluation de la performance sur le plan de la sûreté de la centrale de Davis Besse.

En particulier, le rapport relève que ces acteurs étaient informés des précédents observés en France, dans les années 1990, et aux Etats-Unis (Oconee) en 2001. Or la NRC, au lieu d'organiser une recherche préventive des fuites, s'est contentée de demander aux opérateurs quels étaient leurs plans pour gérer d'éventuelles fuites qui surviendraient sur les adaptateurs.

De plus, ni la NRC ni l'opérateur n'ont tiré les conséquences de l'apparition des dépôts d'acide borique, identifiés dès 1998.

24. Cité par *Environment News Service*, "Nuclear agency takes blame for Ohio reactor damage", 10 octobre 2002. Traduction WISE-Paris.

Pour Ed Hackett, « l'état d'esprit de toutes les parties était que les dépôts d'acide borique n'étaient pas un vrai problème. (...) Tout le monde croyait que des dégradations de ce type étaient très improbables, alors même que l'historique de ce genre de phénomène sur les centrales américaines et étrangères montre que les dégradations peuvent être très rapides »²⁵.

6. Les origines conceptuelles de l'endommagement

6.1. Montage et soudure des adaptateurs

Le montage des adaptateurs se fait par frettage. Il nécessite d'abord des logements de grande précision et un état de surface très propre pour garantir un état de contrainte quantifié nécessaire à la qualité de la liaison.

L'adaptateur est refroidi à la température de l'azote puis introduit dans son logement où le retour à la température ambiante crée ensuite une contrainte de frettage. Celle-ci ne sera conservée que s'il n'y a pas trop de fluage dans les cycles thermiques que connaît la cuve.

D'autre part, un montage par frettage ne peut être considéré comme étanche. Il nécessite une soudure d'étanchéité qu'on réalise généralement dans une zone de faibles contraintes.

La soudure réalisée sur l'adaptateur à Davis Besse ne correspond pas à ces critères. Elle lie en effet 3 matériaux aux comportements mécaniques et thermiques assez différents, ne serait-ce que par leur dilatation thermique.

En elle-même, la soudure d'un acier inoxydable avec un acier au carbone est par essence fragilisante pour l'acier inoxydable du fait de son appauvrissement en carbone. Généralement, l'acier inoxydable perd ses caractéristiques au niveau de cette soudure. Il ne serait pas étonnant que la fissuration commence à ce niveau.

Dans la conception il faut aussi noter que cette soudure, de par sa situation à l'intérieur de la cuve, ne peut plus être contrôlée.

6.2. Origine des fissures

Il est probable que la fissure soit née au niveau de la soudure entre l'adaptateur, l'acier inoxydable et l'acier au carbone.

L'eau borée s'infiltre alors axialement dans l'interstice laissé par le montage par frettage et commence à ronger l'acier au carbone par corrosion électrolytique fer-nickel. Cette corrosion se développe sous forme caverneuse sous la surface du couvercle, ce qui explique l'absence de sa détection par les examens télévisuels.

Au bout d'un certain temps, assez long d'ailleurs, cette corrosion apparaît sous forme de cavité telle que celle qui a été trouvée à Davis Besse.

6.3. Types des fissures

Très tôt, EDF a affirmé n'avoir trouvé et ne pouvoir trouver que des fissures longitudinales sur les couvercles de cuves, fissures réputées ne pas présenter de risque majeur pour la sûreté. La NRC a repris et confirmé cette affirmation en 1993.

Les détections de fissures circonférentielles sur les couvercles de cuves des unités numéro 1 et 2 de la centrale américaine d'Oconee ont infirmé les déclarations d'EDF et de la NRC. Elles démontrent que la probabilité d'existence de telles fissures dans les couvercles de cuve n'est pas du tout négligeable.

25 Idem.

Dans un souci de sûreté, il semblerait aujourd'hui préférable de considérer, vu les contraintes, les cycles thermohydrauliques et thermomécaniques, les matériaux en présence et la fatigue des matériaux due aux irradiations, qu'une fissure axiale alimentée en eau borée peut évoluer vers une fissure circonférentielle et présenter donc un risque majeur d'éjection de l'adaptateur et des barres de contrôle.

6.4. Réparation des fissures

Une fois détectée, une fissure importante, ou pire encore une cavité telle que celle de Davis Besse, pose un problème difficile à régler. Si la réparation est envisageable, la faisabilité d'une telle opération dépend fortement de l'emplacement des dégradations.

En effet, pour une fissure sur la surface du couvercle, dans l'acier ferritique, le remède préconisé est d'éliminer la concentration de contrainte en bout de fissure en faisant un trou à chacune de ses extrémités et en arrondissant son corps sous forme de gouttière.

En revanche, pour une fissure au pied de l'adaptateur sur la face extérieure du couvercle, cela semble impraticable et sans effet vu l'interstice entre l'adaptateur et le couvercle.

Si comme on peut le penser, l'origine est au niveau de la soudure, aucune réparation ne peut être menée sans démontage du couvercle de cuve.

7. Les dispositifs de sûreté et leur limites

7.1. Les parades en cas de rupture due à une fissuration

Une fissuration importante, et plus encore une grosse cavité, peut conduire à la perte de réfrigérant du réacteur, qui peut avoir lieu en cas de rupture de la couche inoxydable ou d'éjection de l'adaptateur et de tout ce qu'il contient.

Dans un tel scénario, le principal problème est lié à la menace que le réacteur se vide rapidement de son eau à travers le trou créé dans la cuve. Pour compenser un telle perte d'eau dans le réacteur, des moyens sont prévus lors de son dimensionnement²⁶ :

- d'abord l'eau du pressuriseur et celle des accumulateurs se déverseraient dans le circuit primaire et donc dans la cuve,
- puis, l'eau des bâches de stockage (noté RWST) reprendrait la relève par l'intermédiaire des pompes haute, intermédiaire et basse pression (ces bâches se videraient en 30 à 45 mn),
- les opérateurs fermeraient alors les vannes entre les pompes et les bâches (RWST) et ouvriraient les vannes entre la pompe d'injection à basse pression et le puisard qui récupère l'eau échappée du couvercle de cuve (la pompe citée (basse pression) aurait pour fonction de reverser cette eau récupérée dans la cuve),
- un système auxiliaire d'eau froide fournirait également de l'eau à l'échangeur de chaleur pour en extraire la chaleur.

Ces dispositifs sont schématiquement représentés dans la figure 7 (Annexe 2).

7.2. Les limites des dispositifs de sûreté

À travers les enseignements tirés de l'expérience d'exploitation des réacteurs, il faut rester prudent sur les séquences de mise en œuvre des dispositifs de sûreté tels qu'ils sont présentés dans les exercices théoriques.

26. UCS, op. cit.

Bien des écarts aux comportements théoriques des mécanismes d'urgence et à la conduite de la sûreté du réacteur ont été mentionnés dans diverses installations nucléaires américaines :

- À Three Mile Island (en mars 1979), lors de l'accident, du fait que les instruments indiquaient faussement un trop plein d'eau dans la cuve, les pompes d'urgence furent arrêtées, ce qui a engendré les conséquences que l'on connaît.
- À Haddam Neck (1996), il a été constaté que la tuyauterie était sous dimensionnée, ne permettant pas un débit suffisant pour noyer le cœur du réacteur à temps et éviter ainsi sa fusion. Cette découverte eut lieu 20 ans après sa mise en service.
- À Callaway (2001), des débris provenant des bâches de stockage (RWST) ont bouché les pompes les rendant inefficaces.

Du point de vue des dispositifs de sécurité, il est nécessaire de doter rapidement les mécanismes des grappes de contrôle du réacteur de systèmes anti-éjection.

8. Les répercussions éventuelles sur le parc français

Dès l'apparition de la fissure longitudinale de Bugey en 1991, EDF a prévu différentes mesures :

- réparer les fissures lorsqu'elles dépassent 4 mm de profondeur²⁷,
- surveiller le couvercle de cuve pour détecter les fuites en analysant la teneur en azote 13 de son atmosphère²⁸,
- utiliser, pour la fabrication des adaptateurs, l'Inconel 690, dont le retour d'expérience a montré qu'il est moins susceptible à la fissuration que l'Inconel 600,
- changer les couvercles endommagés.

À propos du problème de la fissuration des couvercles de cuve, les experts de la sûreté nucléaire français annonçaient dès 1997 : « *les fissures pourraient tout au plus conduire à une faible fuite d'eau borée qui pourrait entraîner à terme une dégradation du couvercle* »²⁹.

L'incident majeur de Davis Besse montre que l'ampleur des dégradations possibles est bien supérieure aux estimations. La technologie française reprenant le même concept, le même type d'incident est à redouter sur le parc de réacteurs à eau sous pression exploité par EDF.

Lors d'une conférence de presse, le 20 mars 2002, André-Claude Lacoste, directeur de l'autorité de sûreté nucléaire française, a estimé que le problème de Davis Besse relevait du même phénomène, en « *plus aigu* », que celui observé en France au début des années 1990, sans toutefois estimer qu'une réévaluation de ce problème soit nécessaire dans l'immédiat pour le parc français.

Alors qu'EDF semble avoir pris du retard dans le programme établi il y a plus de 10 ans, le cas Davis Besse rappelle au contraire que l'examen minutieux des couvercles de cuve est au contraire une priorité. Il est indispensable de détecter au plus tôt toutes les fissures des couvercles, et de rechercher d'éventuelles corrosions qui ont pu y prendre naissance.

Parallèlement aux opérations de contrôle, EDF doit mener des actions correctives. Ces dernières ont pour but de diminuer les risques de création de fissure.

27. WISE-Paris, op. cit.

28. Greenpeace, op. cit.

29. Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (IPSN), "Anomalies sur les couvercles des cuves des réacteurs à eau sous pression de 900 Mwe et de 1300 Mwe", Fiche Info n°187, avril 1997.

Deux voies peuvent être privilégiées :

- le choix d'un matériau, moins susceptible à la fissuration, que l'Inconel 600 pour l'adaptateur des mécanismes des grappes de contrôle,
- la redéfinition de la soudure de l'adaptateur au couvercle afin d'éliminer la possibilité de création d'un champ de contraintes favorables à la création de défauts.

Cette démarche entraîne logiquement le remplacement des couvercles endommagés ou non.

Le risque ne pouvant être supprimé complètement, il reste la possibilité de jouer sur ses conséquences en dotant les grappes de contrôle de systèmes anti-éjection, de façon à assurer l'arrêt d'urgence du réacteur.

ANNEXES

Annexe 1 : Illustrations – la cavité découverte à Davis Besse

Figure 1 : Photographie de l'endommagement découvert



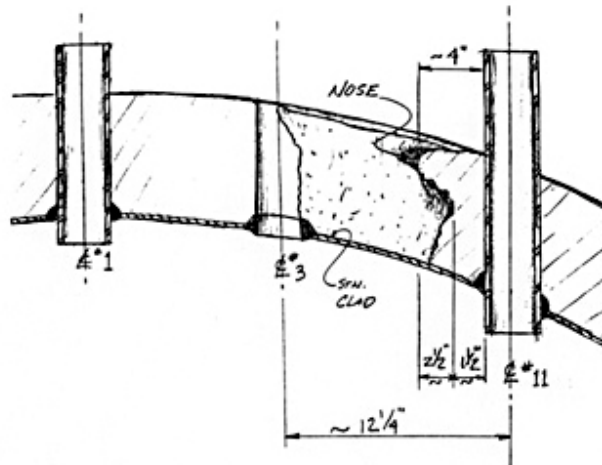
Source : Ohio Citizen Action, reproduit par Environment News Service, octobre 2002

Figure 2 : Photographie de l'endommagement découvert



Source : Union of Concerned Scientists, 2002

Figure 3 : Schéma de l'endommagement



Source : Union of Concerned Scientists, 2002

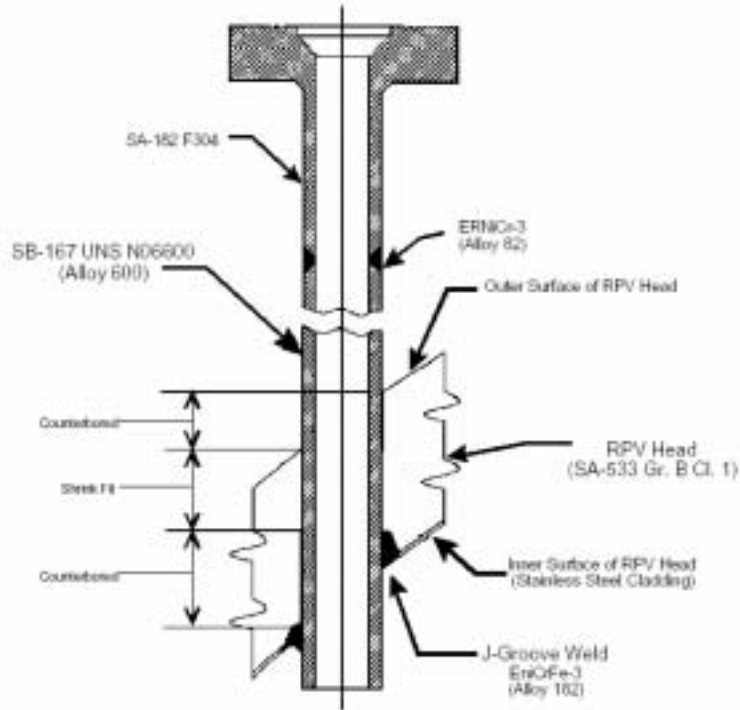
Figure 4 : Localisation de la cavité sur le couvercle du réacteur



Source : NRC, reproduit par Environment News Service, octobre 2002

Annexe 2 : Illustrations complémentaires

Figure 5 : Manchette d'adaptation pour les mécanismes des grappes de contrôle



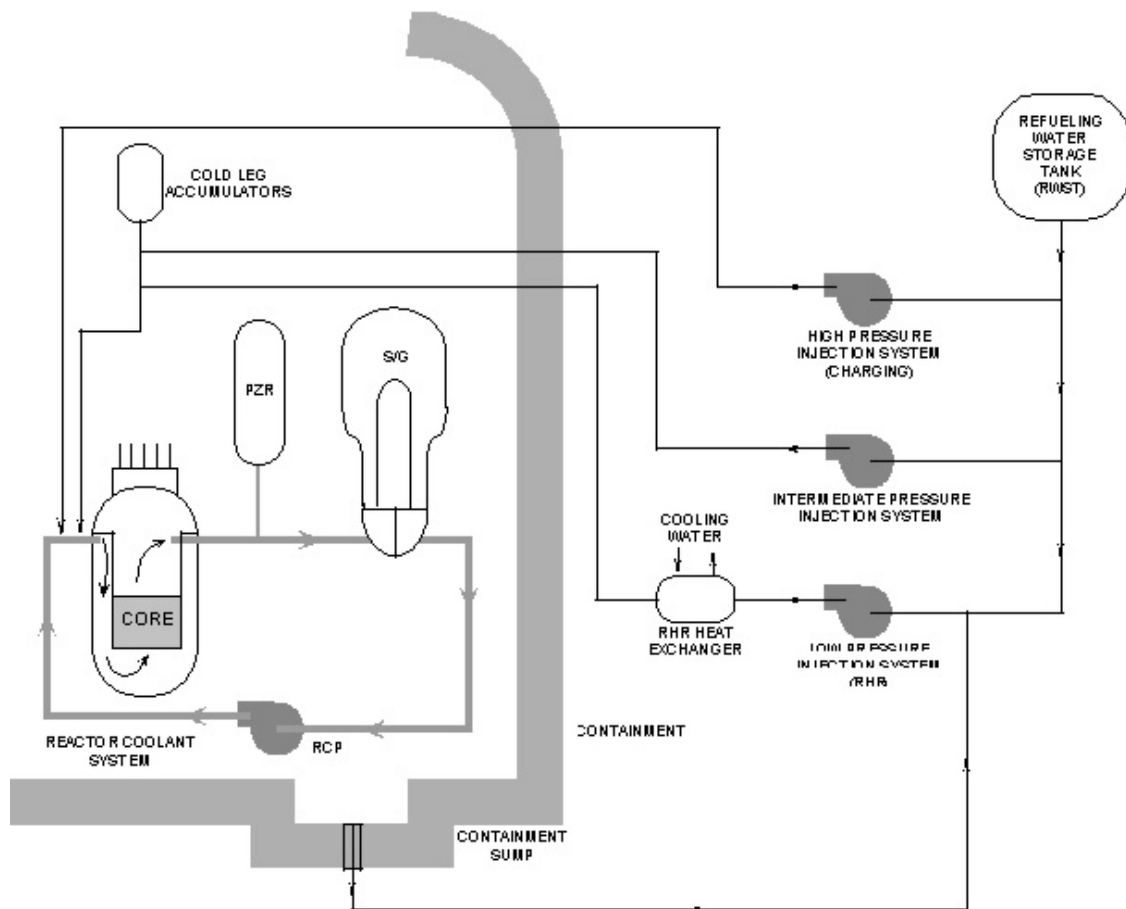
Source : NRC, août 2001

Figure 6 : Cristaux d'acide borique sur la surface d'un couvercle de cuve



Source : Union of Concerned Scientists, 2002

Figure 7 : Schémas des dispositifs de secours d'un réacteur du type Davis Besse



Source : Union of Concerned Scientists, 2002