

Confinement. Enceintes

par **Jean-Louis COSTAZ**

Ingénieur de l'École Centrale de Paris
Ancien chef de la division Génie Civil, EDF-SEPTEN

1. Conception générale du confinement	B 3 290 - 2
1.1 Principe général du confinement	— 2
1.2 Historique de l'enceinte de confinement	— 2
2. Divers types d'enceintes	— 3
2.1 Enceinte à paroi unique du projet standard 900 MWe (REP 900)	— 3
2.2 Enceintes à double paroi du projet standard 1 300-1 450 MW (REP 1 300-1 450)	— 3
3. Actions exercées sur l'enceinte	— 4
3.1 Agressions internes : APRP ou RTV	— 5
3.2 Agressions externes	— 5
4. Codes et normes	— 6
5. Dimensionnement et calculs	— 6
5.1 Généralités	— 6
5.2 Dimensionnement de la précontrainte	— 7
5.3 Principales modélisations numériques	— 7
6. Problèmes concernant la réalisation	— 9
6.1 Organisation des chantiers	— 9
6.2 Principales difficultés rencontrées	— 9
7. Essais et surveillance en service de l'enceinte	— 11
7.1 Épreuve de résistance mécanique	— 11
7.2 Essais d'étanchéité	— 11
8. Prise en considération des accidents au-delà du dimensionnement	— 13
8.1 Enceintes actuelles	— 13
8.2 Projet EPR	— 13
Pour en savoir plus	Doc. B 3 290

La chaudière nucléaire est installée dans le bâtiment du réacteur. En cas d'accident sur la chaudière, des substances radioactives peuvent être relâchées et il convient d'assurer leur confinement afin de limiter les rejets radioactifs dans l'atmosphère à des valeurs acceptables.

Cette fonction de confinement est obtenue par la (ou les) paroi(s) du bâtiment du réacteur appelée **enceinte de confinement**. Différents systèmes associés permettent également de limiter les rejets extérieurs à l'enceinte en ramenant, au bout de quelques heures à quelques jours, la pression dans l'enceinte à une valeur proche de la pression atmosphérique. Citons en particulier le système d'aspersion de l'enceinte (EAS) et le système d'injection de sécurité du cœur (RIS).

Le dimensionnement et les plans de détail ont été confiés à des bureaux d'études expérimentés: Coyne et Bellier, Séchaud et Metz, Neyrpic (actuellement NFM) et notifiés à l'entreprise titulaire du marché global de Génie Civil.

Toutes les grandes entreprises françaises ont participé à la réalisation des enceintes. Le retour d'expérience a été assuré par EDF et a permis une progression constante dans la qualité de réalisation maintenant gérée dans le cadre des programmes d'assurance de la qualité mis en place.

6.2 Principales difficultés rencontrées

6.2.1 Peau d'étanchéité

Dans les enceintes REP 900, la peau métallique assure seule la fonction d'étanchéité de l'enceinte, le béton n'assurant qu'une fonction de résistance.

Néanmoins, lors de la construction, la peau assure également le rôle de coffrage de la face interne du béton et doit donc présenter une rigidité suffisante pour supporter la poussée du béton frais. Ce rôle est assuré par des cornières continues horizontales et verticales noyées dans le béton. Par ailleurs, des connecteurs de diamètre 8 mm au pas de 150 mm évitent le cloquage de la peau lors de la précontrainte du béton.

L'ensemble du système d'ancrage de la peau a subi des modifications, sa rigidité étant insuffisante lors des premières réalisations.

L'étanchéité de l'enceinte REP 900 reposant uniquement sur une membrane de 6 mm d'épaisseur, la qualité d'exécution de la peau est

importante pour la sûreté. Cela impose des contrôles sévères à la fois sur les tôles et sur les soudures réalisées sur chantier.

Le contrôle des soudures est réalisé par radiographie (par sondage), ressuage ou magnétoscopie et boîte à vide à 100%. Si des défauts sont constatés lors des contrôles, des contrôles supplémentaires par radiographie sont réalisés à proximité et les soudures incriminées sont meulées et reprises.

La conception de la peau impose une absence de cloquage en fonctionnement normal afin d'éliminer tout risque de fatigue. Le pas des connecteurs et les tolérances d'implantation de la peau, très étroites, en découlent. Toute contrecourbure et tout désalignement des tôles au niveau des soudures doivent être compensés par des connecteurs supplémentaires.

Malgré ces difficultés, les résultats des essais globaux d'étanchéité des enceintes REP 900 (figure 8) prouvent l'étanchéité quasi absolue de la peau.

6.2.2 Qualité du béton

On pourra se reporter à la référence [15].

■ Pour les REP 900, aucune étanchéité n'étant demandée au béton, il s'agit d'un problème classique de résistance et de mise en œuvre correcte afin d'enrober convenablement toutes les pièces noyées dans le béton et, en particulier, les cornières de la peau. La difficulté majeure apparaît au niveau du gousset de liaison entre le radier et le cylindre à cause de l'inclinaison de la peau et de la grande quantité d'aciers passifs. De petites cavités ont été localisées sur certaines enceintes et ont dû être injectées au coulis de ciment en pratiquant des orifices dans la peau, ultérieurement rebouchés par des tampons soudés et contrôlés.

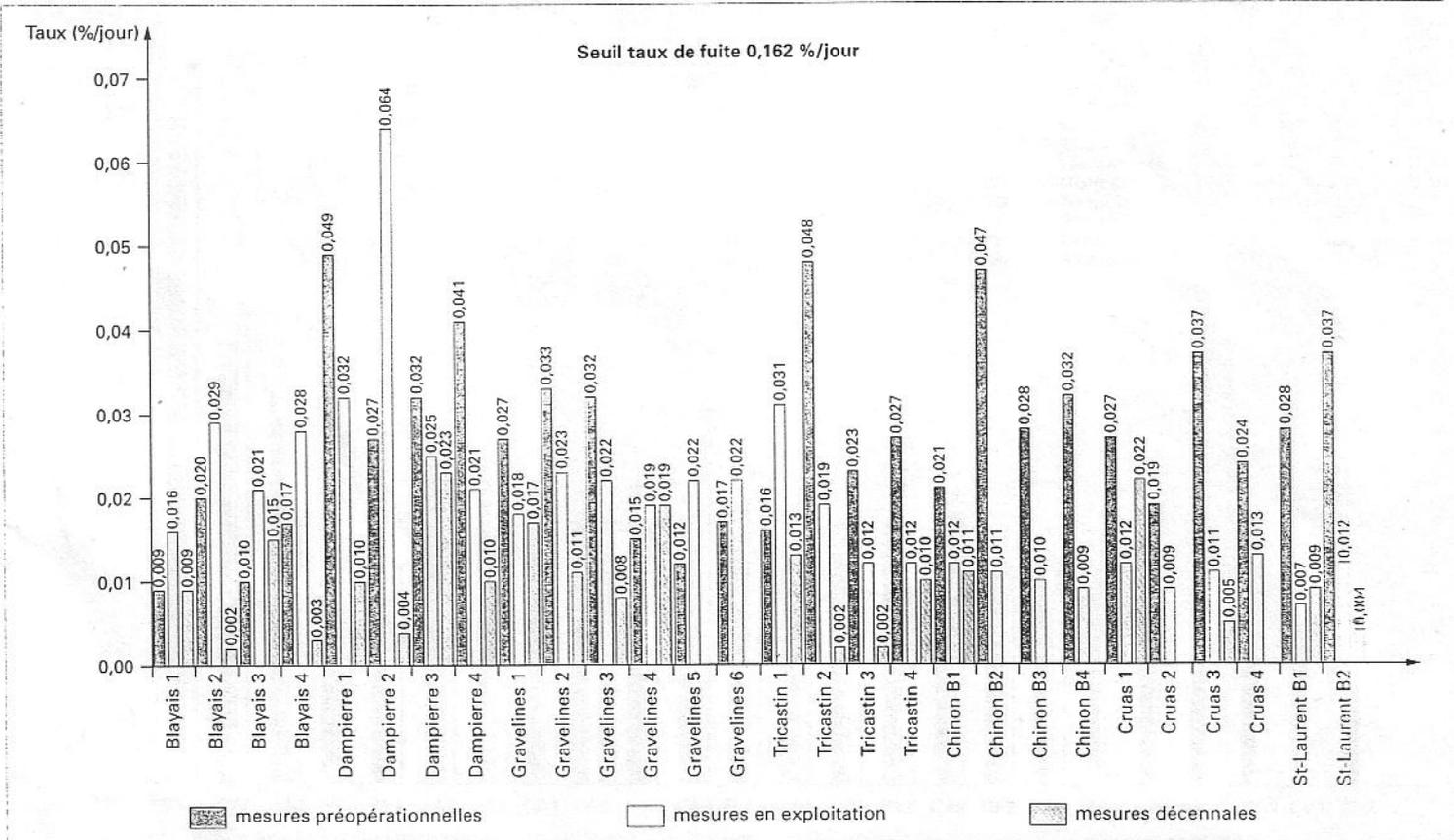


Figure 8 - Taux de fuite des enceintes de confinement REP 900 CP1/CP2 (d'après le Septen)

Une autre difficulté réside dans le bétonnage sous la virole de l'accès matériel de diamètre 7,40 m. Des orifices doivent être percés dans la virole à proximité de sa génératrice inférieure et des *cheminées de bétonnage* doivent être ménagées dans le ferrailage passif, à la verticale de ces orifices.

Ces dispositions qui permettent le passage des pervibrateurs n'avaient pas été mises en œuvre sur les premières tranches et des injections de béton ont dû être pratiquées pour remplir les zones défectueuses.

■ Pour les REP 1300-1450, le béton assure à la fois la fonction de résistance et d'étanchéité. Il convient donc de soigner particulièrement sa composition (compacité) et sa mise en œuvre. Une attention spéciale doit être fournie au niveau des reprises de bétonnage (tous les 2,40 m). Une procédure de traitement de ces reprises a été établie et ces joints de reprise ne constituent plus des points faibles vis-à-vis de l'étanchéité. Un dispositif de contrôle et d'injection éventuelle a été utilisé sur toutes les enceintes.

Un autre souci constant est d'éviter la formation de microfissures dues principalement au retrait du béton au jeune âge. Une limitation de la quantité de ciment et le choix d'un ciment à faible chaleur d'hydratation sont apparus les meilleurs remèdes.

Un essai de béton à hautes performances (BHP) sur l'enceinte de Civaux 2 a permis d'améliorer encore la technologie en remplaçant une partie du ciment par des ultrafines constituées de *fumées de silice* [11].

Les essais globaux d'étanchéité en air sec (figure 9) montrent une dispersion importante des résultats et quelques dépassements du

critère de 1 % fixé d'une manière conservatrice vis-à-vis de l'exigence de sûreté qui est de 1,5 % pour un mélange air-vapeur d'eau (§ 2.2). Une maquette de grandes dimensions construite à Civaux fournira fin 1997 une bonne appréciation des marges résultant de ce critère (figure 12).

Les dernières réalisations à Chooz et Civaux (palier REP 1450) présentent les taux de fuite les plus faibles, ce qui traduit globalement les progrès accomplis dans la qualité de réalisation des enceintes.

6.23 Précontrainte

Pour assurer une étanchéité convenable du béton à l'air, il est indispensable d'éviter au maximum les contraintes de traction. Cela n'est possible qu'en soumettant le béton à une contrainte initiale de compression dite *précontrainte* [16].

A noter que le radier est en béton armé classique mais que, d'une part, il n'est soumis qu'à des flexions et non à une traction pure et que, d'autre part, il n'a à assurer qu'une étanchéité à l'eau en cas d'accident.

A l'exception des prototypes de Fessenheim et Bugey, la réalisation de la précontrainte de toutes les enceintes a été confiée à la société GPN dont le partenaire majoritaire est Freyssinet, cette société constituant un sous-traitant imposé à l'entreprise générale.

L'intérêt majeur de cette décision a été de permettre un programme de Recherche et Développement très important en vue d'adapter la précontrainte classique utilisée sur les ponts aux exigences nucléaires. L'effort le plus important a porté sur les deux composants suivants :

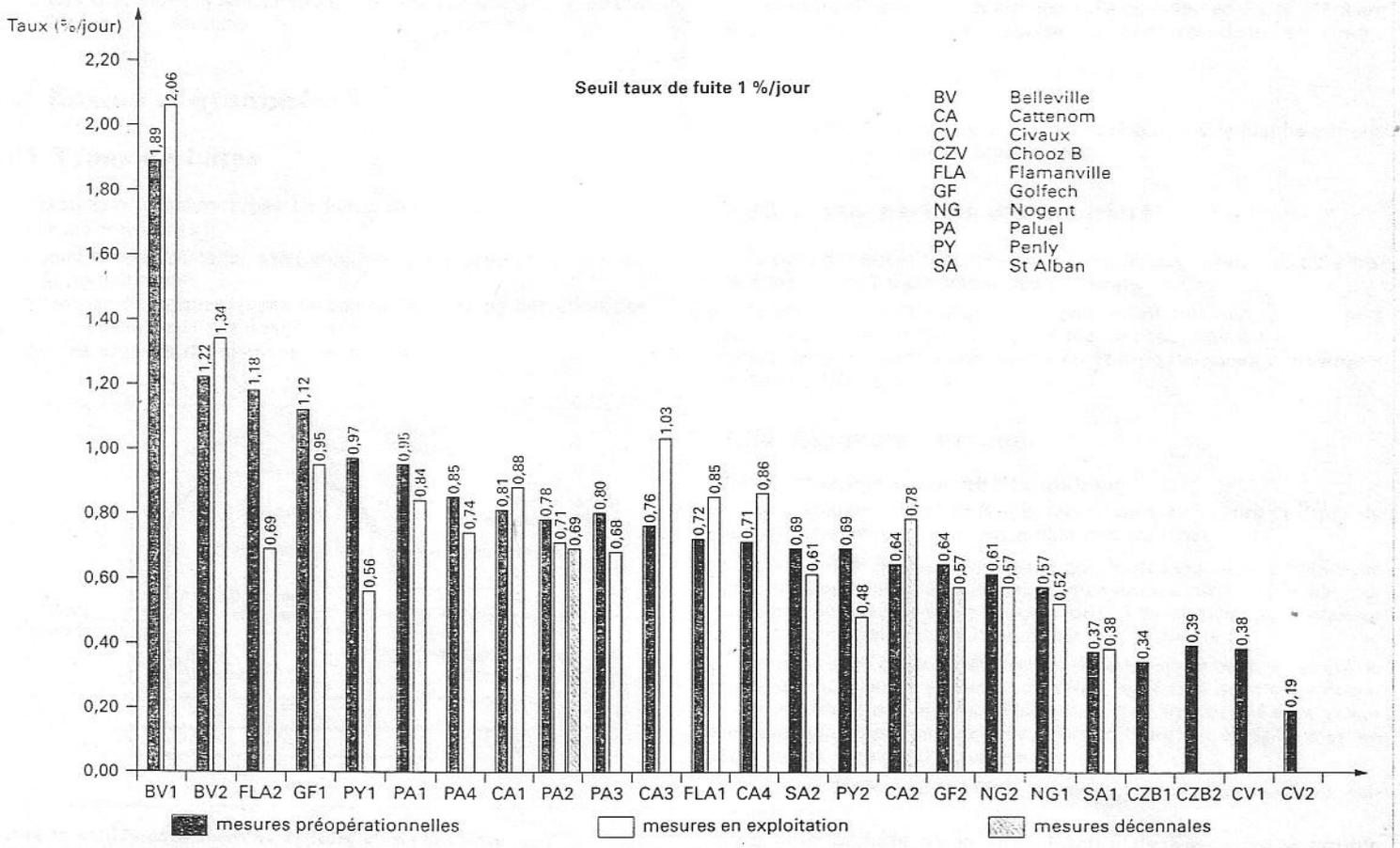


Figure 9 - Taux de fuite des enceintes de confinement REP 1300 - 1450 P4, P'4, N4 (d'après le Septen)