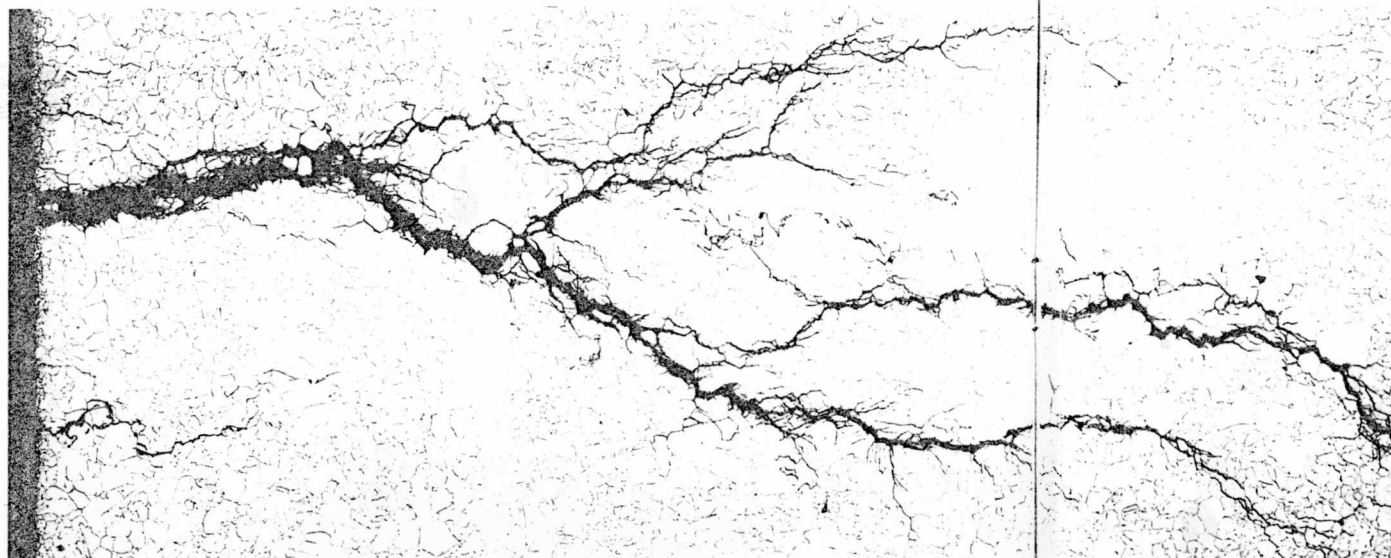


LA CORROSION SOUS CONTRAINTE DES ALLIAGES DE NICKEL

Parmi les diverses manifestations de la corrosion, la corrosion sous contrainte (CSC) est certainement l'une des formes les plus redoutées dans la mesure où elle se traduit par une fissuration dont la phase de propagation peut être relativement rapide et intervenir après une longue phase d'incubation exempte de tout signe précurseur. Depuis longtemps, le Centre d'études et de recherches sur les matériaux du Commissariat à l'énergie atomique (CEA/Cerem) travaille sur l'étude de cette forme de dégradation des matériaux, notamment sur les aciers inoxydables ainsi que sur les alliages de nickel utilisés dans les réacteurs nucléaires à eau sous pression (REP) pour la réalisation des tubes de générateurs de vapeur (GV). Le sujet étant d'importance pour l'ensemble de l'industrie nucléaire, il a mobilisé beaucoup de chercheurs, d'ingénieurs et de techniciens, un peu partout dans le monde. Dès le début, le CEA s'est situé au cœur de l'action internationale qui s'est déployée, avec de nombreux partenaires comme Électricité de France (EDF) et Framatome en France, Westinghouse et l'Electric Power Research Institute (EPRI) aux États-Unis... Depuis les premières fissurations en service, parades et remèdes ont été mis au point. Néanmoins, le phénomène physique qui se trouve à la racine du problème industriel continue à faire l'objet d'un vaste effort de recherche dont l'enjeu est la prévision quantitative de la CSC.



CEA/Cerem

Les alliages de nickel

Comme toujours en corrosion, deux acteurs sont en jeu : le matériau et le milieu. Dans le cas des GV, tels ceux mis en service en France entre 1975 et le début des années quatre-vingt-dix, il s'agit de l'Alliage 600 (ou Inconel 600 lorsqu'il est fabriqué par l'Inco) qui est un alliage de nickel (Ni) contenant environ 15 % de chrome (Cr) et 8 % de fer (Fe). Quant au milieu, il est constitué de l'eau du circuit primaire des REP, une eau très pure additionnée d'une faible quantité d'acide borique (quelques grammes par kilogramme

d'eau) neutralisé par de l'hydroxyde de lithium (lithine). C'est à l'intérieur (côté primaire) des tubes en Alliage 600 des GV de REP, dans les zones soumises à de fortes contraintes mécaniques de tension, comme les transitions de dudgeonnage ou les petits cintres (encadré 1), que peuvent se développer des fissures.

Dans les années cinquante, les tubes des premiers GV de REP étaient en acier inoxydable. Toutefois, étant donné que ce type d'alliage est fortement sensible à la CSC en présence de chlorures, polluants possibles du circuit secondaire en cas de fuites au condenseur, certains

constructeurs décidèrent d'utiliser l'Inconel 600. En effet, dans des solutions aqueuses même très concentrées en chlorures et à l'ébullition sous la pression atmosphérique, cet alliage résiste très bien à la CSC.

L'effet Coriou

Dès le choix de l'Inconel 600 connu, le Service de corrosion du CEA, dirigé à cette époque par Henri Coriou, lança plusieurs essais en autoclave pour vérifier la tenue de cet alliage à la CSC dans l'eau à haute température. Les premières observations, réalisées après



La corrosion sous contrainte (CSC), qui se traduit par la fissuration de certains matériaux, fait l'objet de nombreuses études au CEA. Cette illustration est une micrographie sur coupe d'une éprouvette en Alliage 600 fissurée par CSC dans de l'eau polluée par du plomb (oxyde de plomb) à 360 °C. La profondeur réelle approximative de la fissure est de 1 mm.

Le générateur de vapeur

Dans une centrale nucléaire à eau sous pression, la chaleur engendrée par les réactions de fission dans le cœur du réacteur est utilisée pour produire de la vapeur d'eau. Par l'intermédiaire de turbines, ce fluide actionne des alternateurs qui produisent l'électricité. La vapeur se forme dans des composants de la centrale appelés générateurs de vapeur (GV), à partir d'une eau qui ne passe pas dans le cœur. Les GV du parc français sont constitués d'un faisceau de tubes en U à l'intérieur desquels circule l'eau chauffée par le cœur (cir-

cuit primaire). C'est à l'extérieur de ces tubes que de l'eau provenant d'un autre circuit (circuit secondaire) est vaporisée. Les tubes des GV sont fixés par dudgeonnage sur une plaque à tubes et ils sont maintenus en place par des plaques entretoises. Les zones de fissuration par corrosion sous contrainte peuvent se situer, du côté primaire, dans les transitions de dudgeonnage et les petits cintres, et, du côté secondaire, au niveau des plaques entretoises et de la boue déposée au-dessus de la plaque à tubes.

