

LE PILOTAGE DES RÉACTEURS

Présentation

Cette journée technique, organisée le 15 mars 2007, par la Section Technique ST6 "Physique des réacteurs" et présidée par F. Bouteille d'Areva NP, a tout d'abord été introduite par une présentation des objectifs du pilotage en réponse aux besoins du réseau électrique. Elle a ensuite permis de traiter les différents thèmes suivants relatifs aux REP exploités par EDF : les moyens de contrôle, les effets physiques intervenant dans le pilotage, les différents modes de pilotage, et le retour d'expérience d'exploitation. Une ouverture a été donnée sur le mode de pilotage de l'EPR, le retour d'expérience des réacteurs rapides et des réacteurs bouillants.

La participation s'est élevée à 90 personnes de tous horizons, et les échanges ont été nombreux et fructueux, permettant de mesurer les enjeux sûreté et performances et de confronter les filières et technologies dans ce domaine du pilotage des réacteurs. D'où la réussite de cette journée.

Les objectifs du pilotage en réponse aux besoins du réseau électrique

Depuis l'ouverture du marché, l'équilibre physique entre l'offre et la demande d'électricité en France est assurée en permanence par le gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE). Pour garantir la sûreté du système électrique, RTE s'appuie sur différents leviers, notamment les performances des tranches nucléaires, leur capacité d'ilotage ou de baisse d'urgence. D'autres performances, comme le réglage primaire ou secondaire de fréquence, offrent les marges indispensables au pilotage du réseau.

La demande d'électricité adressée à EDF varie dans l'année (demande plus importante en hiver qu'en été), dans la semaine (demande plus importante en jours ouvrés que le week-end), au sein de la journée (demande plus importante le jour que la nuit). Pour faire face à cette demande, le parc nucléaire constitue le moyen de production majoritaire en France. De ce fait, lorsque la demande est faible, le niveau de productible nucléaire peut être supérieur à la demande. Pour garantir l'équilibre physique entre la production et la consommation, le parc nucléaire adapte alors son niveau de production en réalisant des baisses de charge ou même des arrêts courts.

Au même titre que les ouvrages de transport ou que les autres groupes de production de technologies différentes, le parc nucléaire est un acteur essentiel du système électrique français. Avec ses performances techniques, il contribue à la sûreté du réseau et à l'adaptation à tout instant des niveaux de production et de consommation d'électricité.

Les moyens de contrôle de la réactivité du cœur, et les effets physiques mis en jeu dans les variations de charge des REP

Les moyens de contrôle de la réactivité dans les réacteurs de type REP sont fonction de l'échelle de temps associée aux différents effets physiques qui se développent dans ce type de réacteur :

- effets à long terme tels que l'épuisement du combustible compensé par des variations de bore soluble et/ou les poisons consommables,
- effets à moyen terme tels que les effets xénon et samarium associés à des variations de puissance, compensés également par des variations de concentration en bore soluble,
- effets à court terme tels que l'effet Doppler et l'effet modérateur mis en jeu lors des variations de puissance.

Une stratégie d'utilisation du bore soluble et des grappes de contrôle en vue de compenser ces effets définit un mode de pilotage.

Les différents phénomènes physiques qui interviennent sur le cœur lors des variations de charge dans le pilotage des REP, impactent à la fois la réactivité du cœur et la distribution de puissance. L'effet Xénon est particulièrement important à la fois en niveau d'antiréactivité, en dynamique d'évolution, et en effets spatiaux. La présence de combustible MOX (mélange UO_2 - PuO_2) impacte de manière plutôt favorable le pilotage. D'une manière générale, les nouvelles gestions de combustible diminuent le poids du Xénon, les effluents et améliorent la stabilité.

Evolution des modes de pilotage conçus par Areva

Les premiers réacteurs installés en France, ceux de Fessenheim et Bugey, sont pilotés en mode A, qui est le mode de pilotage des premières centrales REP américaines. Ce mode de pilotage fait majoritairement appel au bore soluble.

Dès la seconde moitié des années 70, les centrales EDF devant participer au suivi de réseau, EDF a défini un cahier des charges qui a donné naissance au mode G. Ce mode de pilotage présente des performances accrues en permettant un retour rapide à la puissance nominale sans préavis, grâce à l'utilisation de grappes grises (d'où le nom de mode G ou Gris). Ces grappes peuvent être profondément insérées dans le cœur tout en limitant la perturbation de la distribution de puissance. Le mode G est implanté sur 28 tranches 900 MWe et 20 tranches 1300 MWe.

Pour le palier N4, le mode X a été développé pour assurer un contrôle automatique du déséquilibre axial de puissance. Testé avec succès au démarrage de Chooz B1, il n'est cependant plus utilisé compte tenu des exigences nouvelles qui sont apparues concernant le risque d'interaction pastille-gaine et les difficultés de justification.

Le retour d'expérience sur le pilotage en exploitation

Le retour d'expérience montre qu'une bonne maîtrise du pilotage permet d'optimiser la disponibilité et la performance de production du parc REP EDF. Les exigences et contraintes d'exploitation du parc EDF nécessitent de recourir à des simulations neutroniques afin :

- de mieux appréhender le comportement réel du réacteur lors d'un transitoire de fonctionnement exigé, soit par la demande du réseau, soit pour maintenance du matériel,
- et d'optimiser les actions de pilotage tout en respectant les règles de sûreté.

Ces simulations passent par la mise à disposition d'Outils d'Aide au Pilotage. Une démonstration de l'outil Simu_N 1D sur un transitoire de type redémarrage en fin de cycle particulièrement difficile à contrôler a permis une bonne illustration. Ensuite deux transitoires typiques ont été décrits : fonctionnement en réglage primaire et secondaire de fréquence, et baisse de charge avec contrôle sur une valeur cible de delta I (différence axiale de puissance), montrant une bonne maîtrise du point de fonctionnement.

Le mode T de pilotage de l'EPR

Pour l'EPR, un nouveau mode de pilotage a été développé par Areva, le mode T. Ce mode de pilotage combine les avantages des précédents modes de pilotage, et de celui des Konvoi allemands.

Des performances élevées en vitesse de variation de charge à 5 % Pn/mn jusqu'à 100 %Pn sont obtenues, et le mode de pilotage est totalement automatique, dilution/borication comprise. De plus, une minimisation des effluents peut être recherchée grâce au contrôle du Pmax ; ce contrôle permet, selon les besoins du réseau, de compenser les variations Xénon soit par des mouvements de groupes, soit par dilution/borication. Le mode T repose sur la répartition des grappes en 2 groupes de pilotage, l'un pour la température, l'autre pour la distribution de puissance.

Retour d'expérience sur le pilotage des réacteurs rapides

L'exploitation du réacteur PHENIX, prototype français des réacteurs rapides à sodium depuis 1973, a permis d'accumuler plus de 30 ans d'expérience dans le pilotage de ce type de réacteur. Son cœur compact, constitué d'une centaine d'assemblages combustibles mixtes (U,Pu) O_2 fonctionnant sous flux de neutrons rapides, limite considérablement les effets spatiaux et les transitoires neutroniques (effet Xénon) souvent gênants pour les autres réacteurs. Par ailleurs, le cœur étant intégré dans un bloc réacteur contenant 800 tonnes de sodium, l'inertie thermique associée au réacteur permet de gérer aisément les transitoires de puissance, notamment ceux occasionnés par un arrêt intempestif du réacteur.

Le pilotage en puissance des réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium est rendu aisé par des contre-réactions thermiques auto-stabilisantes et de faibles variations de réactivité qui limitent l'intervention des opérateurs. Aisance du pilotage et marges de sûreté importantes sont des points forts pour une filière candidate à la chaudière des réacteurs de quatrième génération.

Le pilotage des cœurs REB

Les spécificités des REB sont liées à la production de la vapeur dans le cœur même. La thermohydraulique diphasique joue un rôle important pour le pilotage des cœurs REB. Les barres de contrôle sont utilisées pour le réglage de la puissance des assemblages et du cœur, et pour l'optimisation de la forme axiale de puissance. Les pompes axiales règlent le débit d'eau à l'entrée du cœur et, par l'intermédiaire du taux de vide, la puissance du cœur. L'instrumentation du cœur, à base de détecteurs de flux de neutrons et de sondes mobiles sensibles aux gammas, fait l'objet d'un traitement à 3D.

Le contrôle de fonctionnement est réalisé en utilisant une carte débit-puissance qui définit le domaine opératoire. Le point de fonctionnement se déplace en modifiant le débit dans le cœur (vitesse des pompes) et/ou en déplaçant les barres de contrôle. Il n'y a pas d'oscillation Xénon et le risque d'interaction pastille-gaine est contrôlé. Ces réacteurs bénéficient d'une grande expérience dans le monde.

Conclusion

En conclusion, le président de séance a souligné que le nucléaire est normalement exploité en base et le suivi de charge n'est pas la première préoccupation des exploitants dans le monde. En France, compte tenu du poids du nucléaire dans la production d'électricité, les variations de charge sont nécessaires. Le domaine du pilotage des REP, qui équipent le parc nucléaire d'EDF, s'est révélé très actif avec les différents modes de pilotage qui ont été développés (mode A, mode G, mode X, mode T de l'EPR) et les nombreuses améliorations apportées au fil du temps. Les autres filières (RNR, REB) présentent des caractéristiques très différentes de celles des REP mais offrent des capacités de suivi de charge et de réponse aux besoins des exploitants.

Enfin M. Bouteille remercie la ST6 pour le choix de ce thème du pilotage des réacteurs qui s'est révélé une bonne proposition de sujet porteur pour les jeunes, les orateurs pour leurs présentations claires de grande qualité, et l'auditoire pour son attention et sa participation active.

François BOUTEILLE

Section technique ST6 "Physique des Réacteurs"