

# Une technologie explosive: l'EPR

## Un réacteur à puissance réduite

Le « Rapport préliminaire de sûreté [RPS] de l'EPR Flamanville 3 » (version publique 2006) nous donne les caractéristiques de ce réacteur en les comparant à celles des réacteurs du « palier N4 » (centrales de Chooz et Civaux). Cependant, une note d'étude d'EDF de 2004 [1] indique que la puissance de l'EPR serait, dans un premier temps, inférieure de 180 MWe à celle déclarée dans le Rapport préliminaire de sûreté.

Paramètres du réacteur	Rapport de sûreté		Note EDF 2004	
	EPR	Palier N4	EPR	Palier N4
Puissance thermique (MWth)	4500	4250	4250/4500	4250
Puissance électrique (MWe)	1630	1475	1450/1550	1450
Rendement (%)	36	34,5	/	/
Rendement calculé (Pe/Pth)	36,2	34,7	34,1/34,4	34,1

La puissance du réacteur EPR sera donc équivalente à celle des centrales les plus récentes (palier N4). Quant à l'effarant saut technologique de 1,5% de rendement, il ne serait que poudre aux yeux et enfumage. En effet, avec les mêmes puissances thermique (Pth) et électrique (Pe), les deux types de réacteur ne peuvent avoir qu'un même rendement, de l'ordre de 34%.

Un autre document explique que « la vocation de l'EPR est de permettre le passage (à moyen terme) à un niveau de puissance de 4 500 MWth [mégawatt thermique] » [2] (§4.10). La durée du « moyen terme » n'est pas indiquée. « Toutefois, la puissance retenue dans les études accidentelles du rapport préliminaire de sûreté EPR est 4250 MWth » [1] (§4.1).

## Une énergie ruineuse

Cet écart de puissance est-il important ? Oui car il conditionne le coût de production du réacteur. Pour un même coût de construction, plus la machine est puissante plus elle produira de l'énergie, et moins chers seront les mégawatt-heures (MWh).

C. Pierre Zaleski et Sophie Meritet du Centre de géopolitique de l'énergie et des matières premières (CGEMP) ont estimé en 2004 le coût du MWh EPR à 41 € pour un coût de construction de 3 milliards d'€ et avec une puissance de 4 500 MWth [3]. Ce MWh serait désormais de l'ordre de 55 € compte tenu du surcoût de construction annoncé prudemment à 4 milliards d'€ [4]. Et la facture risque de s'allonger encore en fonction des aléas du chantier de construction, de la transparence du maître d'œuvre sur le coût réel et de ce qu'on entend par « moyen terme » pour le passage de 4 250 à 4 500 MWth...

Il est alors intéressant de comparer les coûts de production nucléaire. Aujourd'hui, le MWh « en base » est vendu par EDF à 35 € sur le marché de l'énergie, pour un prix de revient de 33 à 34 € sortie des centrales REP actuelles.

L'EPR produira donc à perte l'énergie de « base » même si le prix de vente du MWh « en base » est légèrement relevé comme le souhaite EDF. Cependant, le coût du MWh « en pointe » de consommation peut dépasser les 100 € sur le « Marché spot » de l'électricité [5].

Mais, l'EPR est conçu pour fonctionner en « *suivi de charge* » ainsi qu'en « *réglage de fréquence* ». Il est sensé réaliser des variations rapides de puissance grâce à son mode de pilotage révolutionnaire : le « *RIP* » pour « *Retour instantané en puissance* ».

Dans ce cas, EDF pourrait éventuellement envisager d'amortir son investissement.

## **L'accident grave**

Eventuellement... En effet, nous avons connaissance d'une note technique d'EDF [6] évoquant l'« *l'EDG FA3* ». Qu'est ce que c'est que ce charabia ? FA3 est le diminutif de Flamanville 3 et EDG est l'acronyme de l'accident « *Ejection de grappe* ». Les grappes servant à contrôler la puissance du réacteur, à le piloter. Ce sont à la fois l'accélérateur et le frein. L'accident d'éjection de grappe peut se comparer au blocage de l'accélérateur. A fond.

Le paragraphe 15.2.4.e du « *Rapport préliminaire de sûreté* » décrit « *l'EDG FA3* ».

« *Cet accident conduit à une perte de réfrigérant primaire via la rupture de l'enveloppe du mécanisme de commande de la grappe éjectée* » et « *entraîne un transitoire très rapide avec un temps d'éjection [...] de 0,1 secondes* ».

L'éjection de la grappe provoque un « *apport de réactivité positif rapide suivi d'une excursion de puissance* ». Heureusement, « *la contre réaction Doppler* » et « *l'arrêt automatique (...) initié au pic de puissance* » arrêtent le phénomène. Normalement.

Cependant, il est écrit que le réacteur peut, en cas d'éjection de grappe à faible puissance, dépasser « *la prompte criticité* ».

Que désigne ce terme barbare ? Pour en avoir une idée, tapez « *prompte criticité* » sur votre moteur de recherche et allez sur le site de la très pro-nucléaire Société française d'énergie nucléaire. Vous y trouverez un compte rendu technique de l'accident de Tchernobyl. Sans qu'il y ait eu d'accident d'éjection de grappe, le réacteur s'est retrouvé « *en situation de prompte criticité et la puissance a pu atteindre en quelques secondes cent fois la valeur nominale* » [7].

« *Cependant il ne faut pas perdre de vue que l'accident survenu à Tchernobyl est un accident de criticité prompte sur un réacteur de puissance.*

*Comme le souligne l'IPSN [Institut de protection et de sûreté nucléaire], les accident de criticité présente un danger particulier du fait que lorsque le milieu est sous-critique, la puissance neutronique est très faible et que si le milieu devient sur-critique pour une raison quelconque, il peut devenir le siège d'une excursion de puissance neutronique assimilable à une explosion* »[8].

Lu sur l'encyclopédie en ligne « *wikipedia* » : la « *criticité prompte, c'est celle où opèrent les armes nucléaires* ».

L'EPR risque t'il exploser à son tour ?

On est en droit de se poser la question à la lecture des documents d'EDF.

## **Le réacteur s'emballé**

Dans une étude [9], les ingénieurs d'EDF ont identifié « *l'accident d'éjection de grappe* » comme « *potentiellement problématique pour EPR* ». Il est question de « *dépassements très significatifs* » du « *critère de nombre de crayons [combustible] en crise d'ébullition* ». De « *20 à 30%* » du combustible pourrait alors se rompre en cas d'accident.

En résumé, le réacteur s'emballé localement (excursion de puissance), le combustible chauffe, l'eau qui le refroidissait se met à bouillir (crise d'ébullition).

Un physicien pourrait faire le bilan entre l'effet Doppler et l'effet de température stabilisant la réaction sur-critique avec les effets du changement d'état du modérateur (eau/vapeur), de la moindre quantité de bore dans la vapeur et de la présence d'un « *réflecteur lourd* » qui limite le taux de fuite des neutrons rapides.

Le tableau 3 du document [9] présente les résultats de l'étude d'Areva qui montrent que le combustible pourrait atteindre la température de 2779°C pour une température de fusion de 2800°C. On est admiratif face à une telle précision. Curieusement, la température de la gaine n'atteindrait que 1458°C bien que contenant l'oxyde d'uranium à près de 2800°C.

Par ailleurs, on sait que la température de fusion du combustible diminue en fonction de l'irradiation. De l'ordre de 40°C pour le combustible EPR à haut « burn-up ».

Le paragraphe 6.1.6 nous apprend que « *l'origine des difficultés rencontrées en éjection de grappe étant essentiellement liée au mode de pilotage envisagé pour EPR et plus précisément dans l'exigence de maintien de la capacité de Retour instantané en puissance (...), la voie ultime d'amélioration de l'étude d'accident réside dans la modification de celui-ci* ».

Le « *RIP* » pose donc problème. La solution serait alors d'abandonner ce mode de pilotage plutôt contraignant. EDF sacrifierait la rentabilité sur l'autel de la sûreté ? Cela « *ne pourrait toutefois être envisagée que de manière temporaire dans le meilleur des cas, le temps de faire accepter une voie de résolution pérenne* ».

Accepter à qui ? Le chapitre 7 évoque la possibilité de « *remplacer les critères actuels* » par une autre méthode « *analytique* ». Cette solution « *devrait s'accompagner d'un dossier défensif montrant le respect des critères actuels moyennant la prise en compte de contraintes d'exploitation éventuellement applicables le temps de faire aboutir le dossier auprès de l'ASN* ». L'Autorité de sûreté nucléaire, le « gendarme » de l'atome qui mange son chapeau plus souvent qu'à son tour. Il est même question dans le « *Plan d'action* » de préparer « *la stratégie d'approche de l'ASN* »...

A noter que « *Areva ne semble pas rencontrer de telles difficultés dans le cadre des études réalisées pour OL3 (...). L'absence de prise en compte de pénalités, le recours à une méthodologie d'étude moins pénalisante, et l'absence d'étude haut burnup semble en être les explications principales* » (chapitre 5). Là il est question de l'EPR en construction en Finlande « OL3 » où Areva rencontre d'autres difficultés : 4 années de retard...

---

## **Sûreté problématique**

Revenons au document au titre évoquant les « *voies de sortie de la problématique éjection de grappe* » [2]. Cette note technique fait le tour des solutions envisageables pour sortir « *de la problématique* » et confirme « *la mise en évidence de dépassements très importants et généralisés des critères de sûreté* » malgré une modification du mode de pilotage. Cela a le mérite d'être clair...

On apprend également (§ 5. 3), que pour le palier N4, la gestion du combustible « *Alcade* » [10] conduit « *à respecter sans marges les critères actuels de sûreté en éjection de grappe* ». Ces réacteurs évolue donc déjà sur la corde raide car « *sans marge* » on n'est pas à l'abri d'une erreur de calcul.

## **Modification majeure**

En fin d'année 2007, Areva revoit la conception du réacteur en projetant de remplacer un certain nombre de grappes de pilotage très absorbantes de neutrons (dites « *grappes noires* ») par des grappes moins absorbantes (« *grappes grises* »). Sans renoncer au mode de pilotage « *RIP* » à l'origine du problème. Le document [11] explique qu'il restera dans certains cas « *des marges d'arrêt faibles voire insuffisantes* », que « *des difficultés persistent* » et « *resteront présentes à fort niveau de puissance lors de la réalisation de l'étude d'éjection de grappe* », malgré le remplacement des grappes « *noires* » par des « *grises* ». Dans l'annexe 1 (page 24), le « *NCE* » (Nombre de crayons en Crise d'Ébullition) à puissance nominale se situe aux alentours de 10%.

On peut penser qu'un tel changement dans l'efficacité des grappes de pilotage d'un réacteur s'apparente à une modification majeure de conception qui pourrait mettre à mal la démonstration de sûreté acceptée par l'ASN. C'est ce que suggère ce dernier document de l'année 2007 (§ 7): « *la reprise du schéma de grappes est une modification importante de conception par rapport au PSAR [Preliminary safety analysis report] qui a conduit au DAC [Décret d'autorisation de création] et que l'ASN pourrait y voir une raison de constat de perte d'actualité du dossier* ».

Il faut savoir que les marges bénéfiques obtenues en EDG avec des grappes grises moins absorbantes de neutrons deviennent défavorables en cas d'accident de Rupture de tuyauterie vapeur (RTV). C'est la quadrature du cercle.

### **Un problème insoluble**

Nous avons donc vu que le « *NCE* » reste élevé malgré les diverses modifications apportées. La note EDF citée en [6] dresse le bilan sur le problème « *EDG* ». En 2009, les problèmes persistent et, au niveau de la radioprotection, d'autres semblent poindre (§8.2.1):

« *La principale évolution attendue sur EPR étant le passage à 4500MWth, si l'étude EDG du RdS [Rapport de sûreté] 4300 est réalisée avec peu ou pas de provisions, le bilan des marges (physiques) se dégradera forcément à 4500.*

*Dans ces conditions, le choix de provisions faibles pour maximiser les marges physiques, au prix de contraintes sur l'exploitation, de calculs volumineux en recharge et de dégradation du bilan des marges lors d'évolutions ultérieures, ne présente que peu d'avantages.*

*Seule la crainte de difficultés à accommoder les calculs de rejets radioactifs vis à vis de la qualification du matériel (conception différente du parc) peut conduire à moduler cette position. En effet sur EPR le matériel n'est classé que jusqu'à 1% de crayons cassés.*

*Or si dans les études de rejets EPR on considère, comme c'est couramment le cas, que les crayons entrant en NCE en EDG sont cassés pour l'étude de rejet, on voit bien qu'il convient de minimiser ce NCE. On notera toutefois qu'il est absolument impossible qu'une étude d'EDG conduise à un NCE inférieur à 1%, le NCE EPR prévisionnel étant plutôt entre 6 et 9% ».*

### **Rupture des deux premières barrières**

En « *éjection de grappe* », le « *nombre de crayons en crise d'ébullition* » considérés comme « *cassés* » sera largement supérieur à 1%, valeur maximale à laquelle « *le matériel EPR est classé* » d'un point de vue radiologique. En clair, au delà de 1% de NCE, le matériel exposé aux fortes radiations risque de tomber en panne...

Dans ce type d'accident, l'éjection de la grappe a créé une brèche par laquelle le circuit primaire en train de bouillir (crise d'ébullition) se dépressurise dans l'enceinte. La deuxième barrière de confinement est donc rompue. Et même si « *l'excursion de puissance* » est stoppé

en quelques secondes par « *l'Arrêt automatique du réacteur* », l'eau à 155 bar du circuit primaire continuera à être pulvérisée dans l'enceinte de confinement (1 bar) sous forme de vapeur (300°C). Vapeur extrêmement radioactive du fait des « *crayons cassés* ». Crayons cassés signifiant rupture de la première barrière de confinement : la gaine du combustible d'une épaisseur de 0,57 mm seulement.

Le dégagement d'énergie mécanique lors de l'interaction combustible-eau n'est même pas évoqué alors qu'il risque de provoquer quelques désordres dans ce coin surchauffé du réacteur. Désordre tel que la déformation des assemblages combustible empêchant ainsi les grappes de sécurité de chuter pour stopper l'excursion de puissance. Si l'ordre d'arrêt automatique est donné...

### **Une illusoire troisième barrière**

La santé des populations ne serait donc plus assurée que par la troisième barrière, l'enceinte de confinement, dont on sait qu'elle n'est pas complètement étanche. Sans oublier que le matériel, comme les vannes d'isolement enceinte par exemple, n'est pas classé en accident grave. Sans compter que l'« *accessibilité BR en fonctionnement* » est prévue : « *l'accessibilité au bâtiment réacteur tranche en marche (7 jour avant et 3 jours après l'arrêt de tranche) est une condition essentielle au respect de la durée d'arrêt de tranche de 16 jours* » [12]. Dans ce cas, la troisième et dernière barrière de confinement est béante !

### **Le réacteur ne s'arrête pas en cas d'accident**

Mais au fait, l'« *Arrêt automatique du réacteur* » (AAR) va-t-il fonctionner en EDG ? La note [6] y répond au chapitre 9, « *Transitoire d'EDG sans AAR* » :

« *Nous rappelons au projet une problématique connexe à l'étude d'EDG, il s'agit des cas d'EDG qui sont trop faibles pour conduire au déclenchement de l'AAR (...). Ces cas ne figurent pas au RdS et leur étude n'est pas prévue à ce jour dans le cadre des études EPR avec AREVA (contrat C). Par ailleurs il n'existe pas de méthodologie pour traiter cette problématique spécifique* ».

« *A l'heure actuelle il semblerait qu'aucune démarche n'ait été entreprise et le dimensionnement de protections EPR semble succinct (...)* ».

Sans oublier « *des temps de chute des grappes trop élevés sur l'EPR en particulier en cas de séisme* » [1] (4.1.2) avec une « *vitesse des grappes environ deux fois moins élevée sur EPR que sur le parc en particulier* » [9] (6.1.6).

« *Concernant plus spécifiquement l'EDG et ses cas sans AAR, un dossier défensif paraît nécessaire pour éviter toute lacune dans la démonstration de sûreté* ».

Mais attention, il s'agit de rester discret sur cette recommandation « *de préparer correctement un dossier présentant la démarche de dimensionnement des protections dans un document interne non transmis à l'ASN* » [6].

Le « *dossier défensif* » a intérêt à être en béton car au chapitre 3.6 du « *Rapport préliminaire de sûreté (RPS) de l'EPR Flamanville 3* », à propos des « *exigences de sûreté* » des « *mécanismes de commande des grappes* », il est écrit : « *la chute de chaque grappe de commande doit être garantie dans toutes les situations accidentelles* ». En « *cas d'EDG* », il est possible qu'aucune grappe ne chute ! Ou qu'elles se bloquent en cours de descente.

Accélérateur bloqué à fond et frein inopérant : Tchernanville 3...

---

Pour information, sur l'étude EDG du palier N4, l'éjection de la grappe à lieu en 0,1 s et le pic de l'excursion de puissance est prévu 0,2 s plus tard. Le début de la chute des grappes n'a lieu que 0,6 s après la détection « *haut flux nucléaire seuil haut* ».

## Conclusion

L'EPR d'Areva est un réacteur inexploitable sans de notables impasses sur la sûreté. Il n'est pas conforme au Rapport de sûreté concernant la chute des grappes (AAR) en cas d'accident grave (EDG) ; le matériel n'est pas classé pour les accidents induisant plus de 1% de crayons combustible cassés. Pourtant, un récupérateur de corium est censé collecter la fusion de 100% du cœur...

Malgré des modifications majeures du pilotage réalisées sans aucune transparence, EDF va prendre des risques inconsidérés pour tenter de rentabiliser à tout prix son investissement. Sans « *RIP* », l'EPR pourrait être exploité à perte. Avec « *RIP* », l'EPR pourrait conduire à notre perte.

RIP : « *Repose en paix* »...

---

## Références

- [1] Présentation synthétique de l'EPR – EDF, avril 2004
- [2] EPR FA3 – Synthèse des voies de sortie de la problématique éjection de grappe – EDF, mai 2007
- [3] <http://www.asn.fr/index.php/S-informer/Publications/La-revue-Contrôle/Dossiers-de-Contrôle-2005/Le-reacteur-EPR>
- [4] Actu énergie – 09/11/2009, information interne EDF
- [5] RTE – Statistiques de l'énergie électrique en France – 2008
- [6] Bilan de la phase préliminaire de l'étude d'EDG FA3 et perspectives – EDF, avril 2009
- [7] <http://www.sfen.org/fr/societe/accidents/tchernobyl/1.htm>
- [8] Marges disponibles pour les activités d'exploitation du REP par rapport aux risques de criticité – EDF, décembre 1999
- [9] EPR FA3 – Synthèse de l'étude de faisabilité de l'accident d'éjection de grappe – EDF, février 2007
- [10] Pour des précisions sur la gestion « Alcade » voir la Décision n° 2007-DC-0066 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 19 juillet 2007 relative à la mise en oeuvre de la gestion du combustible dite « ALCADÉ » dans les réacteurs des centrales nucléaires de Chooz B et Civaux.
- [11] EPR – Gestion combustible – Lot 1 – Revue de conception du schéma de grappes FA3 du 25/10/2007 – EDF, novembre 2007
- [12] Note de présentation de la deuxième revue de projet radioprotection EPR – EDF, mars 2004