

Divergence de l'EPR

Les premiers électrons produits ?

Le 30 août 2024, EDF a déposé sa demande d'autorisation de divergence (voir encadré) de l'EPR de Flamanville. Trois jours plus tard, le 2 septembre, l'ASN l'a autorisée. EDF a annoncé dès le lendemain que le réacteur avait divergé. Immédiatement, de très nombreux représentants de l'industrie nucléaire ont fait part de leur enthousiasme, n'hésitant pas à gommer la réalité des problèmes.

Pour Ludovic Dupin, directeur de l'information de la Société Française de l'Énergie Nucléaire¹ *“le réacteur fonctionne très bien, mais il a fallu faire des vérifications, c'est pour cela que nous avons pris du retard. Cela rappelle le niveau d'exigence de la sûreté nucléaire en France”*.

Faut-il rappeler que cette mise en service intervient avec un retard de 12 ans ; une dépense totale qui approche (et qui excède probablement) 20 milliards d'euros, frais financiers inclus ; et que l'on peut s'attendre à une succession de problèmes opérationnels ?



Centrale nucléaire de Flamanville en 2023.
© JKremona - licence CC

Désinformation complète

Une vaste confusion est par ailleurs entretenue sur la nature de cette divergence. De très nombreux médias², et non des moindres, ont relayé l'idée erronée selon laquelle, le 3 septembre, “Les premiers électrons ont été produits, ce qui permet au réacteur de Flamanville de dégager enfin de l'énergie”³.



La divergence ne marque en réalité que le début des réactions en chaîne dans le cœur du réacteur. Pour que des électrons soient injectés sur le réseau, il faudra attendre que la turbine de 70 mètres de long, se mette en rotation. La puissance de la chaudière nucléaire devra monter à 25% pour que la “quantité” de vapeur fasse tourner correctement le monstre de 1 100 tonnes.

En attendant, les seuls électrons qu'a produits l'EPR, ce sont les radiations bêta émises en particulier par les produits de fission engendrés par les réactions nucléaires.

¹ <https://urlr.me/1C1jR>

² <https://urlr.me/pf735>

³ <https://urlr.me/1C1jR>

Divergence

Les fissions de certains des atomes contenus dans le combustible nucléaire vont dégager de l'énergie au cœur de la "chaudière nucléaire". Chaque fission d'un atome d'uranium 235 (ou d'un autre atome fissile) s'accompagne typiquement de l'émission de 2 à 3 neutrons. Chacun des neutrons émis est susceptible d'engendrer une nouvelle fission, donc la production de 2 à 3 nouveaux neutrons. On parle de réaction en chaîne. La divergence est le moment où on laisse s'enclencher des réactions nucléaires en cascade.

Les réactions en chaîne peuvent conduire, si elles s'emballent, à un dégagement brutal d'énergie (phénomène exponentiel), voire à une explosion violente (phénomène recherché dans une bombe atomique).

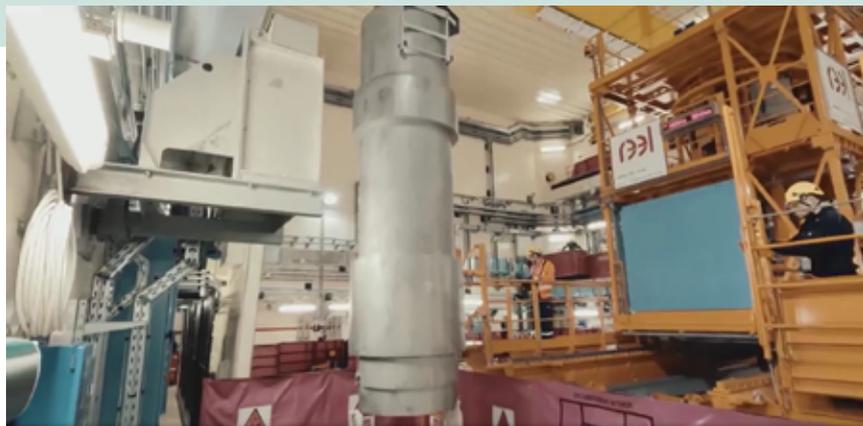
Dans un réacteur électronucléaire, tout doit être fait pour maîtriser les réactions en chaîne et leur niveau d'emballement (ce que l'on appelle en neutronique la "réactivité"). Il s'agit d'obtenir qu'en permanence le nombre de neutrons susceptibles de créer de nouvelles fissions soit légèrement supérieur (mais pas trop) au nombre de neutrons perdus, par exemple absorbés par les substances "neutrophages". Ces substances

sont le bore dissous dans l'eau du circuit primaire sous forme d'acide borique ou d'autres éléments (dont le cadmium) contenus dans les crayons des grappes de commande qui sont plus ou moins insérées dans le cœur du réacteur.

De très nombreux paramètres influent sur la réactivité : température, pression et composition chimique de l'eau du circuit primaire, teneur en matériaux fissiles des crayons de combustible nucléaire, niveau d'insertion des grappes de commande, accumulation de produits de fission dans le combustible, etc.).

Pour faciliter la divergence, 3 sources artificielles de neutrons (crayons sources primaires) ont été livrées en février 2024. Il s'agit de sources fortement radioactives de californium 252, un élément artificiel dont la demi-vie est de 2,6 ans.

Pour enclencher la divergence, les grappes contenant les absorbeurs de neutrons initialement totalement insérées dans le cœur sont remontées et la concentration en bore de l'eau du circuit primaire est progressivement abaissée en apportant de l'eau non borée.



Emballage de 7 tonnes contenant les sources neutroniques primaires (extrait vidéo)
© EDF

Incidents à répétition lors de la mise en service

Le 4 septembre, le lendemain de l'annonce de la divergence, c'est la tuile. Le réacteur se met automatiquement en arrêt. EDF, souligne immédiatement que cela prouve que le système de sécurité de l'EPR fonctionne bien. D'autres figures médiatiques très engagées dans le développement du nucléaire comme Emmanuelle Galichet, enseignante-chercheuse en physique nucléaire au Conservatoire National des Arts et Métiers, insistent également sur le caractère positif de l'incident⁴ : *“Cet arrêt est absolument rassurant dans le sens où le système d'arrêt d'urgence fonctionne, c'est normal qu'il y ait des aléas quand on fait des tests. Ce qu'il faut maintenant, c'est simplement comprendre quel est le capteur qui a déclenché cet arrêt d'urgence”*.

Selon l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN)⁵, l'arrêt fait suite en réalité à *“une erreur humaine”*. *“Dans le cadre des essais de démarrage du réacteur”, “les intervenants ont omis de remettre en service” “certains automates du système de protection, alors que cette opération est bien prévue par les procédures”*. Les essais de démarrage ont néanmoins repris le 7 septembre (un nouvel arrêt est intervenu le 16).

Le manque de maîtrise des procédures d'exploitation est un élément récurrent qui apparaît clairement lorsque l'on examine les incidents qui ont émaillé les toutes premières étapes de la mise en service. Une sélection, tirée des documents disponibles sur les sites d'EDF et de l'ASN, est proposée ci-après (période de mai à juillet 2024).

- Le 18 mai, dans le cadre de la préparation à la vidange de la piscine du bâtiment réacteur, le **niveau d'eau** dans la réserve d'eau dite IRWST⁶ descend à une valeur trop basse ce qui **empêcherait le démarrage** en mode manuel des pompes du circuit d'injection de sécurité.

- Le 22 mai, lors de la vidange de la piscine du bâtiment réacteur, la **pression** dans le pressuriseur **chute en dessous des niveaux autorisés** parce qu'un objet posé sur un événement empêche l'entrée d'air.
- Dans la nuit du 28 au 29 mai, un réservoir contenant de l'eau borée est **vidangé de manière involontaire dans le circuit primaire**. L'eau a transité par un clapet dont les composants internes avaient été démontés, le rendant passant dans les deux sens. Ce dysfonctionnement fait suite à une modification mise en œuvre avant le démarrage du réacteur. L'ASN souligne⁷ que *“si l'eau vidangée avait présenté une concentration en bore plus faible que celle du circuit primaire, cet événement aurait conduit à une dilution non maîtrisée du circuit primaire”*.
- Le lendemain est constaté à nouveau **un risque de dilution non maîtrisée de l'eau du circuit primaire**. L'ASN note⁸ : *“Dans la nuit du 29 au 30 mai 2024, dans le cadre de la préparation d'un essai périodique, les opérateurs*

⁴ Site web de France info et France Bleu Cotentin

⁵ ASN du 16 septembre 2024 : <https://urlr.me/RM1Zk>

⁶ IRWST est l'acronyme de “In-containment Refueling Water Storage”. C'est un réservoir qui contient de l'eau borée. Il permet d'alimenter les circuits d'injection de sécurité et les circuits de refroidissement de l'enceinte de confinement.

⁷ ASN 24 juin 2024 : <https://urlr.me/dLYnb>

⁸ ASN 24 juin 2024 : <https://urlr.me/9vYgV>

en salle de commande ont effectué une permutation de fonction affectée entre deux trains du système RIS-RA. Les opérateurs n'ont pas respecté le mode opératoire prescrit pour cette permutation, et n'ont pas détecté le non-respect d'une prescription permanente des STE qui demande l'isolement de l'échangeur de chaleur du train affecté à la fonction d'injection de sécurité. Cette disposition permet d'éviter le risque de dilution non maîtrisée en cas de mise en service de l'injection de sécurité. Quelques minutes plus tard, une alarme, associée à ce non-respect, s'est déclenchée et n'a pas été correctement prise en compte par les opérateurs de la salle de commande".

- Le 3 juin, une alarme n'est pas prise en compte par l'opérateur en salle de commande, elle signale pourtant qu'une **vanne est restée ouverte** ce qui entraîne une **baisse de la concentration en bore** dans l'eau du circuit d'injection de sécurité et de refroidissement à l'arrêt.
- Le 22 juin, lors d'un contrôle hebdomadaire, est constaté le fait que le **débit de fuite d'eau du circuit primaire** dépasse le seuil autorisé. C'est parce qu'une **électrovanne** utilisée pour prélever de l'eau en vue d'analyses chimiques est **restée ouverte**.
- Le 23 juin, la **température dans le circuit primaire** dépasse la valeur autorisée. EDF découvre que des vannes du groupe de contournement de la turbine étaient mal configurées.

Certains incidents proviennent de défauts dans les procédures, d'autres de leur mauvaise application, d'autres de matériels défectueux (capteurs de pression et d'ouverture et fermeture de vannes, etc.). Ces incidents ne sont hélas pas surprenants compte tenu de la complexité intrinsèque de l'EPR et de l'accumulation des défauts de conception et de réalisation qui ont entraîné des modifications de dernière minute rendant caduques les procédures et la documentation afférente.

De nombreux avis d'incident se concluent par : "L'ASN sera vigilante quant à l'analyse des causes humaines et organisationnelles ayant entraîné cette anomalie et aux actions prises pour éviter son renouvellement". On croise les doigts, d'autant que certains de ces incidents touchent à la maîtrise de la réaction nucléaire (par exemple le contrôle de la concentration en bore dans l'eau du circuit primaire) ou à l'efficacité des dispositifs de sûreté.



Piscine IRWST
© EDF

Indisponibilité des groupes diesels de secours

À ce propos, on notera que l'EPR a été "mis en service" alors que trois des quatre groupes électrogènes de secours étaient en fait "indisponibles au sens des Règles Générales d'Exploitation"⁹. Lors des tests et contrôles effectués entre le 10 mars et le 15 mai 2024, les agents n'avaient pas vu, ou pas signalé, le fait que les niveaux d'eau étaient insuffisants dans les réservoirs des circuits de réfrigération qui doivent permettre le bon fonctionnement de ces groupes à moteur diesel.

Démarrage au pas de course

Dans un communiqué¹² en date du 15 mai 2024, nous écrivions : "Si l'EPR de Flamanville "démarré" effectivement courant 2024, ce sera avec une série de problèmes majeurs pour tant pointés (mais sans effet) lors des consultations publiques : des fluctuations hydrauliques non résolues fragilisant les assemblages de combustible et induisant des variations de flux neutronique, un couvercle de cuve qu'il faudra changer après quelques mois, ce qui en fera un déchet radioactif non prévu et dont la gestion augmentera l'exposition des travailleurs". Ces problématiques sont détaillées¹³ sur le site CRIIRAD.

Démarrer un réacteur nucléaire alors que tant de composants de cet équipement ne sont pas conformes n'est possible que du fait de la bienveillance, voire de la complaisance, de l'ASN à l'égard d'EDF. Outre la question du couvercle de cuve et des fluctuations hydrauliques, pour lesquelles l'ASN a été particulièrement tolérante à l'égard d'EDF, l'autorité s'est montrée conciliante pour de nombreux autres équipements non conformes, comme les échangeurs de chaleur RRI / SEC (cf. encadré).

Le président de l'ASN a même autorisé¹⁴ EDF, le 10 juillet 2024, à "modifier tempo-

En outre, il a été découvert plus tard que deux des quatre groupes n'auraient pas pu jouer leur rôle de source électrique de secours du fait d'erreurs de branchement électrique. EDF l'a signalé à l'ASN le 26 juillet. Les règles de sûreté ne tolèrent que l'indisponibilité d'un groupe électrogène de secours sur les quatre¹⁰ que compte l'EPR, en cas d'opérations de maintenance¹¹.

rairement de manière notable les modalités d'exploitation autorisées du réacteur EPR". Il répondait ainsi favorablement à la demande déposée in extremis le 26 juin 2024 par EDF "de prise en compte de l'indisponibilité de capteurs de mesure du colmatage du système de filtration associé au circuit d'injection de sécurité". Pour prendre sa décision, l'ASN a demandé le 2 juillet l'avis de l'IRSN qui l'a rendu le 10 juillet¹⁵. On y apprend qu'EDF avait constaté dès février 2024 "un comportement anormal des capteurs de pression" de deux des quatre trains.

⁹ ASN 24 juin 2024 : <https://urlr.me/QPFG4>

¹⁰ L'EPR comporte également deux groupes électrogènes à moteur diesel dits "d'ultime secours".

¹¹ ASN 30 juillet 2024 : <https://urlr.me/6yWzR>

¹² <https://urlr.me/7p38h>

¹³ <https://urlr.me/PmTtR>

¹⁴ <https://urlr.me/9VmT2>

¹⁵ <https://urlr.me/M7rfg>

Or selon les STE *“en cas d'indisponibilité de ces capteurs, leur réparation doit être effectuée dans un délai de 7 jours”*. Problème de taille : *“La réparation de ces capteurs requiert de décharger le réacteur et de vidanger la piscine IRWST”*. Mais alors, pourquoi avoir autorisé en mai le chargement du combustible ? *“En outre, la nature des réparations à effectuer n'étant pour l'heure pas clairement établie, EDF ne garantit pas de disposer des pièces de rechange nécessaires à la réparation”*.

Malgré une telle succession de dysfonctionnements, les autorités accordent une fois de plus à EDF de passer outre.

Si tout se déroule au pas de course ces dernières années et ces derniers mois pour faire passer l'EPR du statut de “réacteur en construction” à celui d’installation de production nucléaire”, c’est que les enjeux économiques et politiques sont considérables. Outre la volonté affichée du président de la République de lancer

Date de péremption dépassée

EDF a été en outre continuellement confrontée au risque que ses retards récurrents ne conduisent à dépasser la date limite pour la mise en service du réacteur, et que de fait, elle n'ait plus le droit de le “démarrer”. Malgré la bonne volonté du gouvernement (révision à deux reprises du décret d'autorisation de création DAC) et la précipitation déraisonnable de ces dernières années, EDF et l'ASN ne sont d'ailleurs toujours pas dans les crous.

Le décret d'autorisation de création du 10 avril 2007 prévoyait une mise en service (chargement du combustible) au bout de **10 ans** soit avant le 10 avril 2017. En mars 2017, en urgence, la date limite a été repoussée à **13 ans**. Cependant, compte tenu des difficultés, il a fallu sortir une dernière version en mars 2020, promulguée quelques jours avant la date limite. La nouvelle date limite de mise en service passe de 13 à **17 ans** soit **avant le 10 avril 2024**. Or, l'autorisation de mise

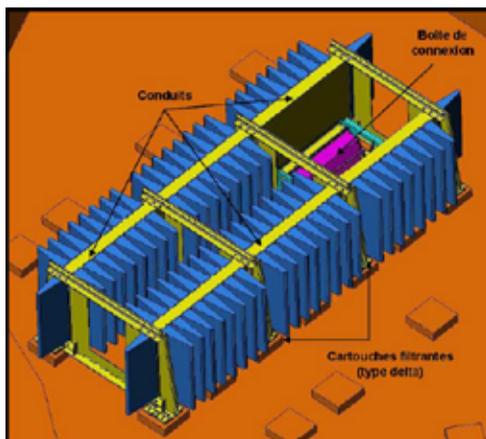


Schéma de principe des filtres RIS © EDF

en construction d’au moins six EPR2, EDF aimerait bien en vendre dans le monde entier. Dès l’annonce de la divergence, la presse a d’ailleurs mis en avant des discussions d’EDF avec *“les Pays-Bas, la Suède ou encore la Slovénie pour vendre son savoir-faire”*, d’autres envisagent une implantation au Kazakhstan, etc.

en service n’a été accordée par l’ASN que le **7 mai 2024**. C’est une des raisons qui a motivé le recours collectif déposé le 8 juillet 2024 par le Réseau Sortir du Nucléaire avec d’autres associations, dont la CRIIRAD. Pour des raisons juridiques et techniques, **nous demandons au Conseil d’État d’annuler l’autorisation de mise en service** de l’EPR délivrée par l’ASN. L’instruction du dossier risque de prendre plusieurs mois.

Performances insuffisantes des échangeurs de l'EPR de Flamanville

Le cœur radioactif de l'EPR doit pouvoir être refroidi en dehors des situations de fonctionnement normal. Les circuits RA et RIS prennent en charge respectivement le refroidissement à l'arrêt et le refroidissement de l'injection de sécurité (RIS) utilisé en cas d'accident. Ces circuits, et d'autres, sont refroidis par le **circuit de réfrigération intermédiaire (RRI)** qui est lui-même refroidi au travers d'un échangeur de chaleur en contact avec le **circuit d'eau brute secourue (SEC)**. La "source froide" est en l'occurrence de l'eau de mer.

La capacité de ces échangeurs à jouer correctement leur rôle est fondamentale pour la sûreté nucléaire. Le niveau de sûreté de l'EPR est présenté depuis des années comme très supérieur à celui des autres réacteurs en fonctionnement dans l'Hexagone, par exemple, par le fait que les systèmes décrits ci-dessus sont redondants, avec "4 trains indépendants, placés dans des locaux séparés physiquement".

Mais si le même défaut de conception ou de réalisation affecte les quatre systèmes, la redondance n'est plus un gage de gain de sûreté, bien au contraire.

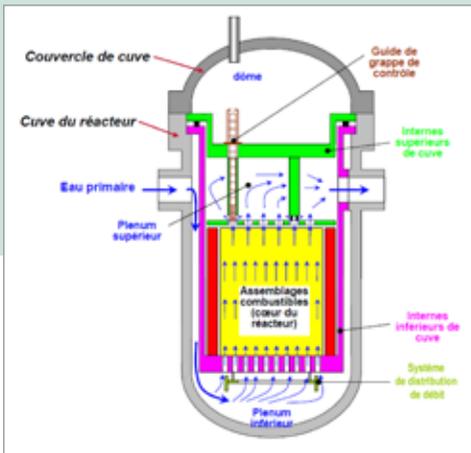
L'ASN a précisé dans son autorisation de mise en service¹⁶ que "le rendement des échangeurs thermiques actuels entre les

circuits de réfrigération intermédiaire (RRI) et d'eau brute secourue (SEC) est inférieur à ce qui était attendu". La sous-performance des échangeurs a conduit EDF à "modifier le système SEC afin que ces échangeurs soient suffisants jusqu'à la première visite décennale du réacteur, malgré la dégradation progressive attendue de leurs performances en raison de leur encrassement et de la possible augmentation de la température de la source froide liée au changement climatique".

L'ASN a donc assorti son autorisation de mise en service de la prescription [INB167-82] : "Les échangeurs entre les circuits de réfrigération intermédiaire (RRI) et d'eau brute secourue (SEC) sont remplacés au plus tard lors de la première visite décennale, afin d'assurer, au-delà de cette échéance, les performances prévues dans le rapport de sûreté de l'installation".

Étonnamment, la prescription de l'ASN en date du **7 mai** impose un remplacement "au plus tard" lors de la première visite décennale alors que le dossier d'instruction rédigé par l'ASN et daté du **2 mai** 2024 précise¹⁷ : "Il est à noter qu'EDF prévoit désormais de remplacer ces échangeurs lors du premier arrêt pour rechargement par des échangeurs de technologie et de dimensions différentes".

Si EDF prévoit finalement de remplacer les échangeurs au bout d'un peu plus d'un an de fonctionnement et non pas de 10 ans, pourquoi l'ASN est-elle conciliante au point de ne pas acter, dans son autorisation de mise en service, de ce délai de remplacement plus resserré ?



La cuve et son couvercle © EDF

¹⁶ ASN 7 mai 2024 : <https://urlr.me/LZwBQ>

¹⁷ ASN 2 mai 2024 (page 133) : Rapport d'instruction sur la demande d'autorisation de mise en service du réacteur EPR de Flamanville (INB n°167)

Les lourdes conséquences de la mise en service

Le fait d'avoir autorisé la mise en service de l'EPR alors que tant de problèmes techniques n'ont pas été résolus en amont aura des conséquences très lourdes. Outre la dégradation des marges de sûreté à tous les niveaux, s'y ajoutent :

- Des conséquences **économiques** par un nombre accru de pannes, des interventions de maintenance plus nombreuses et plus longues, par exemple pour changer le couvercle de cuve ou implanter dans la cuve un dispositif pour corriger les fluctuations hydrauliques.
- Une **production accrue de déchets radioactifs**. Par exemple, en tolérant que le couvercle de cuve soit changé après un cycle de fonctionnement de 15 à 18 mois (alors que le couvercle de remplacement est disponible), l'ASN accepte que soit produit un déchet radioactif de plus dizaines de tonnes qui *"en attente d'une filière de traitement appropriée, sera entreposé sur le site dans un bâtiment dédié"*. La CRIIRAD a interrogé l'ASN cet été, par lettre recommandée, pour obtenir des clarifications sur le devenir de ce futur déchet et le risque que le métal radioactif ne soit au final recyclé dans le domaine public. Pas de réponse pour l'instant.
- Une **augmentation de l'exposition des salariés à la radioactivité**. Les errances du chantier EPR ont déjà conduit à des expositions qui auraient pu être évitées. Par exemple pour les travailleurs qui ont dû refaire les contrôles par radiographie des nombreuses soudures qu'il a fallu reprendre en usine ou directement sur le chantier. Pour ceux qui ont été exposés aux radiations pour extraire, purifier, convertir, enrichir l'uranium, puis fabriquer les pastilles et crayons des 64 assemblages qu'EDF

a dû faire refaire pour tenir compte des défauts de tenue des ressorts de maintien, des vibrations liées à la mauvaise hydraulique dans la cuve, et des défauts sur l'alliage M5 des gaines des crayons, etc.

Et ce n'est pas fini. L'EPR est réputé permettre un objectif de dose collective moyenne annuelle 2 fois plus faible que pour les réacteurs existants (0,35 homme Sievert par an au lieu de 0,7 homme Sievert par an et par réacteur). Or la seule dépose du couvercle de cuve irradié induira une dose collective estimée à 0,2 homme Sievert, soit 57 % de l'objectif limite annuel. Cette dose aurait pu être nulle si l'ASN avait simplement imposé le changement du couvercle avant la divergence. Nous avons interrogé l'ASN en juillet 2024 sur cette incohérence : *"Compte tenu de l'ensemble des dysfonctionnements enregistrés sur l'EPR de Flamanville et des suppléments de dose individuelle et collective qu'ils ont induit et vont induire, l'ASN considère-t-elle que l'objectif de 0,35 homme Sievert reste réaliste ?"*

L'ASN a répondu que *"L'objectif de 0,35 H.Sv par an et par tranche est à considérer en moyenne sur 10 années d'exploitation. La dose collective annuelle variera selon les activités, notamment de maintenance, réalisées dans l'année"*. Elle précise que les doses seront optimisées par EDF et que la radioprotection sera contrôlée par l'ASN. Heureusement pourrait-on dire ! Mais cela n'enlève rien au fait que des salariés subiront une exposition supplémentaire qui aurait dû être évitée.

Rappelons que l'exposition aux rayonnements ionisants a des conséquences sanitaires, même à faible dose, comme l'a encore montré l'actualisation de l'étude Inworks¹⁸ sur l'augmentation des risques de cancer pour les travailleurs du nucléaire. L'IRSN

indique que de nouveaux résultats "publiés le 31 août 2024 confirment l'existence d'une relation entre le risque de leucémie et l'exposition cumulée à de faibles doses de rayonnements ionisants".



EPR de Flamanville © EDF

Conclusion

La CRIIRAD et de nombreuses autres associations ont pointé ces dernières années le nombre invraisemblable de défauts de conception et de réalisation qui affectent l'EPR de Flamanville et il est certain que ce réacteur ne fonctionnera jamais correctement.

Les témoignages de salariés du nucléaire que nous avons recueillis ces dernières années sont unanimes. L'EPR devait démarrer à tout prix, tant pis si les pannes à répétition obligent ensuite à des arrêts prolongés ; tant pis si les modifications qu'il aurait fallu apporter avant le démarrage, ne le seront qu'après, dans un milieu qui sera devenu radioactif.

Les dépenses postérieures au démarrage du réacteur ne seront plus imputées aux coûts de construction mais aux coûts de fonctionnement et de maintenance.

Un de nos interlocuteurs fait un parallèle avec Superphénix et déclare, désabusé mais avec humour : « ça va être comme dans une boîte de nuit dans la salle de commande ». Il évoque les voyants lumineux et autres alarmes qui ne manqueront pas d'égayer le quotidien des équipes d'EDF.

Il n'y a plus qu'à espérer que la dégradation des marges de sûreté ne conduise pas à un accident grave.

Rédaction : Bruno Chareyron, le 16/09/24 ●

¹⁸ <https://urlr.me/KnCry>